

**KINETIKA BIODEGRADASI KOPROSTANOL OLEH BAKTERI
TERSELEKSI DARI AIR DAN SEDIMEN PADA LINGKUNGAN SUNGAI,
MUARA, DAN PERAIRAN PANTAI
(Studi Kasus: Jakarta, Semarang, Dan Jepara)**



TESIS

Amelya Nila Andini

L4K 003 001

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2005**

TESIS

KINETIKA BIODEGRADASI KOPROSTANOL OLEH BAKTERI TERSELEKSI DARI AIR DAN SEDIMEN PADA LINGKUNGAN SUNGAI, MUARA, DAN PERAIRAN PANTAI (Studi Kasus: Jakarta, Semarang, Dan Jepara)

Disusun oleh

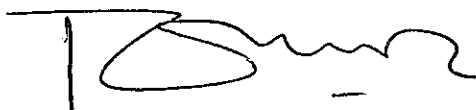
Amelya Nila Andini

L4K 003 001

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 14 Juli 2005
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

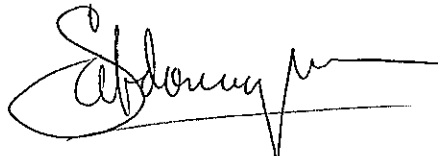
Menyetujui,

Pembimbing I

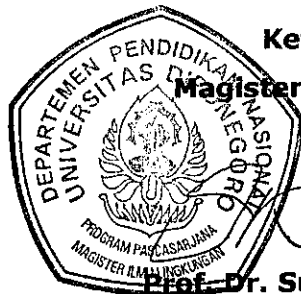


Dr. Tonny Bachtiar, M.Sc

Pembimbing II



Dr. Ir. Agus Sabdono, M.Sc



Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,


Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

LEMBAR PENGESAHAN

KINETIKA BIODEGRADASI KOPROSTANOL OLEH BAKTERI TERSELEKSI DARI AIR DAN SEDIMEN PADA LINGKUNGAN SUNGAI, MUARA, DAN PERAIRAN PANTAI (Studi Kasus: Jakarta, Semarang, Dan Jepara)

Disusun oleh

Amelya Nila Andini

L4K 003 001

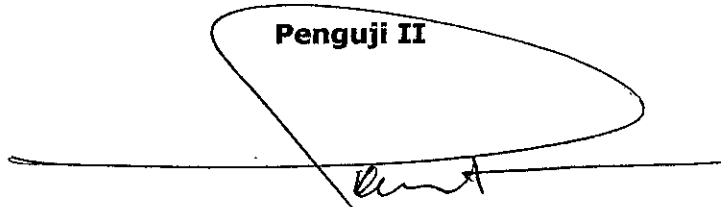
Menyetujui dan Mengesahkan

Penguji I



Dra. Siti Harnina Bintari, MS

Penguji II



Dr. Ir. Purwanto, DEA

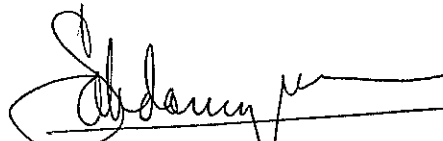
Mengetahui Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Tonny Bachtiar, M.Sc

Pembimbing II



Dr. Ir. Agus Sabdono, M.Sc



Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,


Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

BIO DATA PENULIS



Amelya Nila Andini, lahir di Semarang pada tanggal 1 September 1978. Lulus SMA pada tahun 1996 dan melanjutkan pendidikan Sarjana Strata Satu (S1) pada Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan (STTL) "YLH" Yogyakarta dan berhasil menyelesaikannya pada tahun 2000.

Selama menempuh pendidikan S1 Penulis aktif didalam kegiatan Kelompok Studi Lingkungan (KSL) dan mengikuti kursus Amdal TIPE "A" di UGM pada tahun 1999.

Pada tahun 2001 penulis juga mengikuti kursus P3L (Pengendalian Pemantauan dan Pencemaran Lingkungan) yang diselenggarakan Undip. Pada tahun 2002 penulis bekerja di Dinas Pekerjaan Umum Kota Salatiga sampai saat ini dan melanjutkan pendidikan Pascasarjana (S2) di Program Magister Ilmu Lingkungan Univesitas Diponegoro Semarang. Tesis dengan judul "Kinetika Biodegradasi Koprostanol Oleh Bakteri Terseleksi Dari Air dan Sedimen pada Lingkungan Sungai, Muara, dan Perairan Pantai" (Studi Kasus: Jakarta, Semarang, dan Jepara) yang merupakan program Hibah Penelitian Tim Pascasarjana (HPTP) II dari Ditjen DIKTI, telah berhasil diselesaikan pada tahun 2005.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan atau Magister di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Semua informasi dan pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum atau tidak diterbitkan, dengan ataupun dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dimana sumbernya dijelaskan dalam tulisan dan daftar pustaka dan isi tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Semarang, Juli 2005

Penulis

Amelya Nila Andini
NIM L4K003001

KATA PENGANTAR

Tesis ini disusun untuk memenuhi tugas akhir pada Program Pasca Sarjana Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Tesis ini merupakan rangkaian akhir dari persyaratan dalam mencapai gelar kesarjanaan Program Pasca Sarjana (S2) yang telah diseminarkan dan mendapatkan tanggapan, koreksi dan penyempurnaan.

Tesis yang berjudul "Kinetika Biodegradasi Koprostanol Oleh Bakteri Terseleksi Dari Air dan Sedimen pada Lingkungan Sungai, Muara, dan Perairan Pantai" (Studi Kasus: Jakarta, Semarang, dan Jepara) merupakan Program Penelitian Hibah Penelitian Tim Pascasarjana Tahun ke II yang dibiayai oleh Ditjen DIKTI yang dimaksudkan untuk membantu percepatan masa studi bagi mahasiswa Program Pasca Sarjana Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Penelitian ini telah mendapatkan bimbingan serta arahan guna penyempurnaan isi dan tulisan sekaligus persetujuan dari dosen pembimbing dan penguji.

Untuk itu pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat :

1. Prof. Dr. Sudharto. P.Hadi, MES sebagai Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan;
2. Dr. Tonny Bachtiar, M.Sc sebagai dosen pembimbing I;
3. Dr. Ir. Agus Sabdonno, M.Sc sebagai dosen pembimbing II;
4. Dr. Ocky Karna Radjasa, M.Sc yang memberikan dukungan dalam penyelesaian tesis ini;
5. Dra. Siti Harnina Bintari, MS dan Dr. Ir. Purwanto, DEA sebagai penguji I dan penguji II;
6. Kepala Dinas Pekerjaan Umum Kota Salatiga sebagai instansi kerja dimana saya mengabdikan, yang memberikan izin untuk menempuh Program Pasca Sarjana;
7. Ditjen DIKTI melalui program HPTP yang memberikan kesempatan untuk mengikuti penelitian dan bantuan biaya;
8. Bapak, mama, mba Hesty, ayit serta firel tercinta untuk semua doa, kesabaran, semangat dan dorongan dalam menyelesaikan tesis ini;

9. Para dosen, pengelola dan karyawan Program Magister Ilmu Lingkungan yang membimbing dan memberikan bantuan dan saran dalam menyelesaikan penelitian ini;
10. Teman-teman Magister Ilmu Lingkungan angkatan 2003 kelas reguler dan kelas GTZ-Kimpraswil yang telah memberikan kenangan;
11. Teman-teman Program HPTP yang bersama-sama memberikan bantuan dan saran dalam menyelesaikan penelitian ini;
12. Serta rekan-rekan lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang memberikan semangat dan bantuan dalam penyelesaian tesis ini.

Semoga segala kebaikan dan ketulusan Bapak/Ibu/Saudara dalam membantu penyelesaian tesis ini mendapatkan imbalan dari Allah SWT, Amien.

Penulis,

Amelya Nila Andini

RINGKASAN

Seiring dengan laju pembangunan, jumlah penduduk juga bertambah. Hal ini berpengaruh pada masukan jumlah limbah domestik ke lingkungan. Pencemaran lingkungan tersebut berkaitan dengan sistem perairan pantai yang kompleks. Selama ini, pengukuran bakteri fecal coliform merupakan salah satu cara untuk mengetahui keberadaan kontaminasi limbah domestik, tetapi indikator biologi ini memiliki masalah apabila digunakan pada lingkungan dengan tingkat pencemaran tinggi. Untuk itu, perlu adanya indikator alternatif seperti koprostanol.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persistensi koprostanol pada lingkungan sungai, muara, dan perairan pantai dengan melakukan kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri terseleksi dari air dan sedimen pada kondisi tiga tipologi kota yaitu Kota Metropolitan (Jakarta), Kota Besar (Semarang), dan Kota Kecil (Jepara).

Penelitian dilakukan pada bulan April – Oktober 2004 pada lingkungan sungai, muara dan perairan pantai di Sungai Ciliwung Jakarta, Banjir Kanal Timur Semarang, serta sungai Demaan Jepara. Analisa uji kinetika biodegradasi koprostanol dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Oseanografi Kimia Fakultas Perikanan dan Kelautan Kampus Undip Jepara. Sedangkan analisa UV Spektrofotometer di Laboratorium Instrumen Kimia Organik Fakultas MIPA UGM Yogyakarta. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan analisa data secara deskriptif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa koprostanol cukup persisten, dengan Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{max}) tertinggi pada mix culture bakteri air terdapat pada tipologi Kota Jepara Sungai Air sebesar ($0,864 \text{ hari}^{-1}$) dan terendah pada Kota Semarang Laut Air ($0,682 \text{ hari}^{-1}$). Untuk mix culture bakteri sedimen nilai (μ_{max}) tertinggi pada Kota Jepara Sungai Sedimen ($1,418 \text{ hari}^{-1}$) dan terendah pada Kota Semarang Muara Sedimen ($1,034 \text{ hari}^{-1}$). Nilai K_s tertinggi untuk mix culture bakteri air terdapat pada Kota Semarang Muara Air ($7,22 \text{ } \mu\text{g/ml}$) dan terendah pada Kota Jakarta Laut Air ($4,81 \text{ } \mu\text{g/ml}$). Untuk mix culture bakteri sedimen tertinggi di Kota Jakarta Sungai Sedimen ($16,69 \text{ } \mu\text{g/ml}$) dan terendah pada Kota Semarang Muara Sedimen ($10,90 \text{ } \mu\text{g/ml}$). Laju pertumbuhan bakteri (r_g) tertinggi untuk mix culture bakteri air terdapat pada Kota Jepara Sungai Air ($0,0021 \text{ mg/ml hari}^{-1}$) dan terendah pada Kota Semarang Muara Air ($0,0019 \text{ mg/ml hari}^{-1}$). Nilai (r_g) tertinggi untuk mix culture bakteri sedimen pada Kota Jepara Sungai Sedimen ($0,0082 \text{ mg/ml hari}^{-1}$) dan terendah pada Kota Semarang Muara Sedimen ($0,0035 \text{ mg/ml hari}^{-1}$). Laju penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi untuk mix culture air terdapat pada Kota Semarang Sungai Air ($0,0396 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$) dan terendah pada kota Jepara Sungai Air ($0,00140 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$). Sedangkan nilai laju penggunaan substrat (r_{su}) untuk mix culture bakteri sedimen terdapat pada kota Jakarta Sungai Sedimen ($0,0847 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$) dan terendah pada kota Semarang Sungai Sedimen ($0,0277 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$).

Kata Kunci: biodegradasi, koprostanol, kinetika, persistensi.

ABSTRACT

Along with the development growth, the population are also increase. This factor may influence the quantity of pollutant inputs to the environment. This environment pollution interconnected with coastal waters system which is very complex. So far, measurement of fecal coliform bacteria is one way to determine the presence of domestic waste contamination, however, this biological indicator have problems when used in the environment with high pollution level. Therefore, an alternative indicator was needed, such as coprostanol.

The purpose of this research was to know coprostanol persistence in river, estuarine and coastal by doing experiment of coprostanol biodegradation kinetics by selected bacterias from water and sediment at three cities tipology condition of Metropolitan City (Jakarta), Big City (Semarang), and Small City (Jepara).

The research had been carried out from April – October 2004 at environmental waters of river, estuarine, and coastal of Ciliwung Jakarta, Banjir Kanal Timur Semarang, and Demaan Jepara. The experiment analysis of coprostanol biodegradation kinetics was held at microbiology and chemical oceanography laboratory, Faculty of Fishery and Marine, Diponegoro University. Where as UV Spectrofotometer analysis at Laboratory organic chemical Faculty Mathematic and Natural Science, Gadjah Mada University. Experimental method and descriptive data analysis was used in this research.

The result showed that coprostanol is persistence enough with the high maximum spesific growth rate (μ_{max}) in each Mix culture of water bacteria happens at Jepara city tipology waters of rivers ($0,864 \text{ hari}^{-1}$) and the low at Semarang city waters of seas ($0,682 \text{ hari}^{-1}$). For mix culture of water sediment bacteria the high (μ_{max}) at Jepara city sediment rivers ($1,418 \text{ hari}^{-1}$) and the low at Semarang city sediment estuarine ($1,034 \text{ hari}^{-1}$). The high (K_s) value for mix culture water bacteria happens at Semarang waters of estuarine ($7,22 \text{ } \mu\text{g/ml}$) and the low at Jakarta city waters of seas ($4,81 \text{ } \mu\text{g/ml}$). For the high mix culture sediment bacteria at Jakarta city sediment rivers ($16,69 \text{ } \mu\text{g/ml}$) and the high the low at Semarang city sediment estuarine ($10,90 \text{ } \mu\text{g/ml}$). The high bacteria growth rate (r_g) eith mix culture water bacteria happens at Jepara city waters of rivers ($0,0021 \text{ mg/ml hari}^{-1}$) and the low at Semarang waters of estuarine ($0,0019 \text{ mg/ml hari}^{-1}$). The high value (r_g) for mix culture sediment bacteria at Jepara City sediment rivers ($0,0082 \text{ mg/ml hari}^{-1}$) and the low at Semarang city sediment estuarine Sediment ($0,0035 \text{ mg/ml hari}^{-1}$). The high substrat using rate (r_{su}) for water mix culture happens at Semarang city waters of rivers ($0,0396 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$) and the low at Jepara city waters of rivers ($0,00140 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$). Where as the high value (r_{su}) for mix culture sediment bacteria happens at Jakarta city sediment rivers ($0,0847 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$) and the low at Semarang city sediment rivers ($0,0847 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$) and the low at Semarang city sediment rivers ($0,0277 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$).

Key word: biodegradation, coprostanol, kinetics, persistence.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Landasan Teori.....	4
2.1.1. Karakteristik Sungai, Muara, dan Pantai.....	4
2.1.2. Pencemaran Limbah Domestik.....	5
2.1.3. Koprostanol Sebagai Indikator Kontaminasi Limbah Domestik.....	6
2.1.4. Karakteristik Koprostanol	8
2.1.5. Biodegradasi Koprostanol	9
2.1.6. Bakteri Pendegradasi Koprostanol	10
2.1.7. Sumber Karbon, Energi, dan Nutrien untuk Pertumbuhan Energi	11
2.1.8. Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	11
2.1.9. Sedimen	13
2.2. Enzim	13
2.3. Rona Lingkungan Daerah Penelitian.....	15
2.3.1. Lokasi Penelitian Jakarta.....	15
2.3.2. Lokasi Penelitian Semarang.....	16
2.3.3. Lokasi Penelitian Jepara	17
2.4. Originalitas Penelitian	17
III. METODA PENELITIAN	18
3.1. Rancangan Penelitian.....	18

3.2. Ruang Lingkup Penelitian	19
3.3. Waktu dan Lokasi Penelitian	19
3.4. Jenis dan Sumber Data Penelitian	24
3.5. Instrumen Penelitian.....	24
3.5.1. Alat	24
3.5.2. Bahan	25
3.6. Teknik Pengambilan Data	25
3.6.1. Pembuatan Media Zobell 2216 E	25
3.6.2. Pemeliharaan Kultur Murni Bakteri.....	26
3.6.3. Kinetika Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi	26
3.7. Analisa Data	31
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Lokasi Penelitian Jakarta`	33
4.2. Lokasi Penelitian Semarang	50
4.3. Lokasi Penelitian Jepara	68
V. KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1. Kesimpulan.....	95
5.2. Saran.....	95
Daftar Pustaka.....	96
Lampiran	99

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tingkat Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian Jakarta	16
2. Tingkat Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian Semarang	17
3. Tingkat Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian Jepara	17
4. Jenis dan Sumber Data	24
5. Alat yang Digunakan Dalam Penelitian	24
6. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Jakarta Sungai Air dan Sedimen	36
7. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Jakarta Muara Air dan Sedimen	41
8. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Jakarta Laut Air dan Sedimen	46
9. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Semarang Sungai Air dan Sedimen	54
10. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Semarang Muara Air dan Sedimen	59
11. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Semarang Laut Air dan Sedimen	64
12. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Jepara Sungai Air dan Sedimen	71
13. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Jepara Muara Air dan Sedimen	77
14. Nilai μ_{maks} dan K_s pada Jepara Laut Air dan Sedimen	82
15. Kualitas rata-rata perairan Jakarta	99
16. Kualitas rata-rata perairan Semarang	99
17. Kualitas rata-rata perairan Jepara	99
18. Hasil pengukuran sedimen Jakarta	100
19. Hasil pengukuran sedimen Semarang	100
20. Hasil pengukuran sedimen Jepara	100
21. Hasil identifikasi bakteri terseleksi Jakarta	101
22. Hasil identifikasi bakteri terseleksi Semarang	102
23. Hasil identifikasi bakteri terseleksi Jepara	103
24. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Sungai Air (JSA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	105
25. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Sungai Sedimen (JSS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	106
26. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Muara Air (JMA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	107

27. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Muara Sedimen (JMS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	108
28. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Laut Air (JLA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	109
29. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Laut Sedimen (JLS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	110
30. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Sungai Air (SSA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	111
31. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Sungai Sedimen (SSS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	112
32. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Muara Air (SMA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	113
33. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Muara Sedimen (SMS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	114
34. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Laut Air (SLA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	115
35. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Laut Sedimen (SLS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	116
36. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Sungai Air (JPSA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	117
37. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Sungai Sedimen (JPSS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	118
38. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Muara Air (JPMA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	119
39. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Muara Sedimen (JPMS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	120
40. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Laut Air (JPLA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	121
41. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Laut Sedimen (JPLS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alur Pembentukan Koprostanol	9
2. Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	11
3. Tahapan Penelitian Uji Kinetika Biodegradasi Koprostanol dengan Mix culture Bakteri Air dan Sedimen	20
4. Lokasi Pengambilan Sampel di Jakarta.....	21
5. Lokasi Pengambilan Sampel di Semarang.....	22
6. Lokasi Pengambilan Sampel di Jepara	23
7. Model Monod Pertumbuhan Mikroba	29
8. Linierisasi Lineweaver-Burk thd Persamaan Monod	30
9. Grafik Pertumbuhan Bakteri Jakarta Sungai Air (JSA) dan Jakarta Sungai Sedimen (JSS)	33
10. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Jakarta Sungai Air (JSA) dan Jakarta Sungai Sedimen (JSS).....	34
11. Penentuan μ_{maks} dan K_s Jakarta Sungai Air (JSA) dan Jakarta Sungai Sedimen (JSS) dengan Linierisasi Liniweaver-Burk	35
12. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan nilai tetapan Kejenuhan (K_s).....	36
13. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan Laju Penggunaan substrat (r_{su})	36
14. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Jakarta Sungai Air (JSA) dan Jakarta Sungai Sedimen (JSS).....	37
15. Grafik Pertumbuhan Bakteri Jakarta Muara Air (JMA) dan Jakarta Muara Sedimen (JMS).....	38
16. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Jakarta Muara Air (JMA) dan Jakarta Muara Sedimen (JMS)	39
17. Penentuan μ_{maks} dan K_s Jakarta Muara Air (JMA) dan Jakarta Muara Sedimen (JMS) dengan Linierisasi Liniweaver- Burk	40
18. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan nilai tetapan kejenuhan (K_s).....	41
19. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan Laju Penggunaan Substrat (r_{su}).....	41

20. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Jakarta Muara Air (JMA) dan Jakarta Muara Sedimen (JMS)	42
21. Grafik Pertumbuhan Bakteri Jakarta Laut Air (JLA) dan Jakarta Laut Sedimen (JLS)	43
22. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Jakarta Laut Air (JLA) dan Jakarta Laut Sedimen (JLS)	44
23. Penentuan μ_{maks} dan K_s Jakarta Laut Air (JLA) dan Jakarta Laut Sedimen (JLS) dengan Linierisasi Liniweaver-Burk	45
24. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan nilai tetapan kejenuhan (K_s)	46
25. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su})	46
26. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Jakarta Laut Air (JLA) dan Jakarta Laut Sedimen (JLS)	47
27. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) Jakarta	48
28. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s) Jakarta	48
29. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) Jakarta	49
30. Hasil Laju Penggunaan Substrat (r_{su}) Jakarta	50
31. Grafik Pertumbuhan Bakteri Semarang Sungai Air (SSA) dan Semarang Sungai Sedimen (SSS)	51
32. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Semarang Sungai Air (SSA) dan Semarang Sungai Sedimen (SSS)	52
33. Penentuan μ_{maks} dan K_s Semarang Sungai Air (SSA) dan Semarang Sungai Sedimen (SSS) dengan Linierisasi Liniweaver-Burk	53
34. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)	54
35. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan Laju Penggunaan Substrat (r_{su})	54
36. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Semarang Sungai Air (SSA) dan Semarang Sungai Sedimen (SSS)	55
37. Grafik Pertumbuhan Bakteri Semarang Muara Air (SMA) dan Semarang Muara Sedimen (SMS)	56
38. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Semarang Muara Air (SMA) dan Semarang Muara Sedimen (SMS)	57
39. Penentuan μ_{maks} dan K_s Semarang Muara Air (SMA) dan Semarang Muara Sedimen (SMS) dengan Linierisasi Liniweaver- Burk	58

40. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s).....	59
41. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan Laju Penggunaan Substrat (r_{su})	59
42. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Semarang Muara Air (SMA) dan Semarang Muara Sedimen (SMS)	60
43. Grafik Pertumbuhan Bakteri Semarang Laut Air (SLA) dan Semarang Laut Sedimen (SLS)	61
44. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Semarang Laut Air (SLA) dan Semarang Laut Sedimen (SLS).....	62
45. Penentuan μ_{maks} dan K_s Semarang Laut Air (SLA) Semarang Laut Sedimen (SLS) dengan Linierisasi Liniweaver- Burk	63
46. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s).....	64
47. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan Laju Penggunaan Substrat (r_{su})	64
48. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Semarang Laut Air (SLA) dan Semarang Laut Sedimen (SLS).....	65
49. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) Semarang	66
50. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s) Semarang.....	66
51. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) Semarang	67
52. Hasil Laju Penggunaan Substrat (r_{su}) Semarang.....	67
53. Grafik Pertumbuhan Bakteri Jepara Sungai Air (JPASA) dan Jepara Sungai Sedimen (JPSS).....	69
54. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Jepara Sungai Air (JPASA) dan Jepara Sungai Sedimen (JPSS)	70
55. Penentuan μ_{maks} dan K_s Jepara Sungai Air (JPASA) dan Jepara Sungai Sedimen (JPSS) dengan Linierisasi Liniweaver- Burk	71
56. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s).....	72
57. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan Laju Penggunaan Substrat (r_{su}).....	72
58. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Jepara Sungai Air (JPASA) dan Jepara Sungai Sedimen (JPSS)	73
59. Grafik Pertumbuhan Bakteri Jepara Muara Air (JPMA) dan Jepara Muara Sedimen (JPMS)	74
60. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Jepara Muara Air (JPMA) dan Jepara Muara Sedimen (JPMS).....	75

61. Penentuan μ_{maks} dan K_s Jepara Muara Air (JPMA) dan Jepara Muara Sedimen (JPMS) dengan Linierisasi Liniweaver- Burk.....	76
62. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)	77
63. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan Laju Penggunaan Substrat (r_{su}).....	77
64. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Jepara Muara Air (JPMA) dan Jepara Muara Sedimen (JPMS).....	78
65. Grafik Pertumbuhan Bakteri Jepara Laut Air (JPLA) dan Jepara Laut Sedimen (JPLS)	79
66. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol Jepara Laut Air (JPLA) dan Jepara Laut Sedimen (JPLS)	80
67. Penentuan μ_{maks} dan K_s Jepara Laut Air (JPLA) dan Jepara Laut Sedimen (JPLS) dengan Linierisasi Liniweaver- Burk	81
68. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) dan Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)	82
69. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) dan Laju Penggunaan Substrat (r_{su}).....	82
70. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod Jepara Laut Air (JPLA) dan Jepara Jepara Laut Sedimen (JPLS).....	83
71. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) Jepara	84
72. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s) Jepara.....	84
73. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) Jepara	85
74. Hasil Laju Penggunaan Substrat (r_{su}) Jepara	85
75. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) Sungai.....	86
76. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s) Sungai	87
77. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) Sungai.....	87
78. Hasil Laju Penggunaan Substrat (r_{su}) Sungai.....	88
79. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) Muara.....	89
80. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s) Muara	90
81. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) Muara.....	90
82. Hasil Laju Penggunaan Substrat (r_{su}) Muara.....	91
83. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}) Laut	92
84. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s) Laut.....	92
85. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g) Laut	93
86. Hasil Laju Penggunaan Substrat (r_{su}) Laut	93

87. Gambar Bakteri Pendegradasi Koprostanol dari Mix culture Bakteri Air dan Sedimen	104
88. Proses Pengambilan Sampel Sedimen	123
89. Alat – alat yang digunakan pada Uji Kinetika Biodegradasi	123
90. Foto Lokasi Penelitian Jakarta	124
91. Foto Lokasi Penelitian Semarang	125
92. Foto Lokasi Penelitian Jepara	126

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Kualitas rata-rata perairan Jakarta, Semarang, dan Jepara.....	99
2. Hasil pengukuran sedimen Jakarta, Semarang, dan Jepara.....	100
3. Hasil Identifikasi Bakteri Terseleksi Pendegradasi Koprostanol dari Mix culture Bakteri Air dan Sedimen pada Lokasi Penelitian Jakarta.....	101
4. Hasil Identifikasi Bakteri Terseleksi Pendegradasi Koprostanol dari Mix culture Bakteri Air dan Sedimen pada Lokasi Penelitian Semarang.....	102
5. Hasil Identifikasi Bakteri Terseleksi Pendegradasi Koprostanol dari Mix culture Bakteri Air dan Sedimen pada Lokasi Penelitian Jepara.....	103
6. Foto Bakteri Pendegradasi Koprostanol dari Mix culture Bakteri Air dan Sedimen	104
7. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Sungai Air (JSA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	105
8. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Sungai Sedimen (JSS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	106
9. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Muara Air (JMA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	107
10. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Muara Sedimen (JMS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	108
11. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Laut Air (JLA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	109
12. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jakarta Laut Sedimen (JLS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	110
13. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Sungai Air (SSA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	111
14. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Sungai Sedimen (SSS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	112
15. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Muara Air (SMA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	113
16. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Muara Sedimen (SMS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	114

17. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Laut Air (SLA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	115
18. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Semarang Laut Sedimen (SLS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	116
19. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Sungai Air (JPSA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	117
20. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Sungai Sedimen (JPSS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	118
21. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Muara Air (JPMA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	119
22. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Muara Sedimen (JPMS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	120
23. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Laut Air (JPLA) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm.....	121
24. Rekap Data Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi dari Jepara Laut Sedimen (JPLS) pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm	122
25. Proses Pengambilan Sampel Sedimen dan Alat – alat yang Digunakan Pada Uji Kinetika Biodegradasi	123
26. Foto Lokasi Penelitian Jakarta	124
27. Foto Lokasi Penelitian Semarang	125
28. Foto Lokasi Penelitian Jepara	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara kepulauan yang wilayahnya didominasi oleh pesisir dan lautan, kaya akan beragam sumberdaya alam yang dimanfaatkan untuk berbagai tujuan. Wilayah pesisir dan lautan Indonesia memiliki berbagai fungsi lain, seperti transportasi dan pelabuhan, kawasan industri, agroindustri, rekreasi dan pariwisata serta kawasan pemukiman (Dahuri *et al.*, 1996).

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan kegiatan pembangunan di negara kita, maka akan terjadi peningkatan aktivitas manusia yang menyebabkan pencemaran air, tanah dan udara. Aktivitas manusia di wilayah pesisir yang semakin meningkat, telah menyebabkan terjadinya tekanan lingkungan, dimana peningkatan volume limbah industri yang bersifat toksik dan bersuhu tinggi, serta menurunnya kandungan oksigen terlarut pada perairan pantai dan perubahan salinitas merupakan kendala utama penggunaan organisme indikator karena dapat mengakibatkan kematian organisme (Walker *et al.*, 1982).

Pencemaran bahan organik, yang pada umumnya berasal dari limbah domestik, selain menyebabkan menurunnya kandungan oksigen terlarut, yang menyebabkan kebutuhan oksigen oleh biota yang ada tidak terpenuhi, juga mengandung banyak unsur lain yang membahayakan kesehatan seperti organisme patogen (Chapra, 1997). Limbah domestik yang selama ini dianggap kurang signifikan pengaruhnya terhadap perubahan kualitas perairan, perlu diwaspadai. Zat kontaminan atau pencemar diharapkan sedini mungkin dapat diketahui secara cepat dengan mencari dan menetapkan indikator kontaminasi atau pencemaran yang dapat menggambarkan kondisi lingkungan perairan.

Salah satu sumber polutan dari hasil aktivitas manusia yang menyebabkan terjadinya pencemaran di ekosistem pesisir dan laut adalah limbah rumah tangga atau limbah domestik baik berupa limbah padat maupun cair. Salah satu cara untuk mengetahui adanya pencemaran limbah domestik adalah dengan pengukuran jumlah bakteri *fecal coliform* (Bartlett, 1987). Namun, penggunaan bakteri *fecal coliform* sebagai indikator biologi untuk pencemaran limbah domestik di perairan pantai menimbulkan masalah yang disebabkan pengaruh limbah misalnya salinitas serta pengaruh aktivitas manusia. Hal ini menuntut adanya alternatif indikator yang dapat eksis dan persisten terhadap berbagai tekanan lingkungan, sehingga pencemaran limbah domestik dapat diketahui dengan baik.

Koprostanol memiliki sifat yang spesifik karena koprostanol hanya terdapat pada kotoran manusia dan hewan tingkat tinggi (mamalia) (Walker *et al.*, 1982). Dengan sangat spesifiknya sumber koprostanol tersebut, maka keberadaan koprostanol di alam dapat digunakan sebagai indikator kontaminasi limbah domestik (Bachtiar *et al.*, 2002)

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan muncul pada saat bakteri *coliform* yang digunakan sebagai indikator pencemaran limbah domestik tidak terdeteksi pada lingkungan perairan yang tidak sesuai dengan lingkungan ideal tumbuh dan berkembangbiaknya bakteri sementara diduga kuat bahwa perairan tersebut tercemar oleh limbah domestik termasuk feces.

Beberapa penelitian telah dilakukan berkaitan dengan penggunaan koprostanol sebagai indikator *fecal pollution* diantaranya yang telah dilakukan oleh (Hatcher *et al.*, 1977) di New York Bight, Hatcher and McGillivray (1979); Brown and Wade (1984) yang mengukur konsentrasi koprostanol dan hidrokarbon di aliran dari Chesapeake Elizabeth Sewage Treatment Plant (STP) dan sedimen permukaan dari area di sekitar lokasi pembuangan aliran. Lebih jauh (Dureth *et al.*, 1986) meneliti tentang peruntutan pencemaran feces dengan menggunakan koprostanol dan intestinal bakteri, di danau finnish yang menerima limbah industri dan domestik. Holm dan Windsor (1990), Coakley dan Poulton (1991), (Coakley *et al.*, 1992), namun untuk daerah tropis masih terbatas (Bachtiar, 2002).

Koprostanol telah dijadikan sebagai alternatif indikator resmi dalam penentuan *fecal pollution* pada beberapa wilayah di Negara daerah lintang tinggi. Sedangkan di daerah tropis khususnya di Indonesia hal itu belum banyak diketahui. Menurut Coakley and Long (1990), koprostanol layak digunakan sebagai indikator apabila berasal dari sumber yang spesifik, dapat ditentukan secara kuantitatif (eksistensi koprostanol) dan cukup persisten di daerah penelitian karena koprostanol tersebut di lingkungan yang tercemar mengalami proses biodegradasi oleh bakteri. Walker *et al.*, (1982), mendapatkan koprostanol merupakan hasil dari reduksi kolesterol yang dihasilkan oleh bakteri dan merupakan sterol fecal dominan yaitu 40 – 60 % dari total yang dihasilkan oleh manusia, dan menurut (Hatcher *et al.*, 1977), keberadaan sterol fecal koprostanol di lingkungan perairan telah menunjukkan bahwa koprostanol merupakan indikator kimia untuk kontaminasi limbah domestik.

Untuk mengetahui lebih mendalam tentang kelayakan koprostanol sebagai alternatif indikator pencemaran limbah domestik, maka perlu dilakukan penelitian mengenai persistensi koprostanol pada beberapa lokasi pencemaran. Salah satu upaya mengetahui persistensi koprostanol di lingkungan perairan yaitu melalui uji kinetika biodegradasi

koprostanol oleh bakteri terseleksi pada air dan sedimen di lingkungan sungai, muara, dan perairan pantai pada kondisi tiga tipologi kota yaitu Kota Metropolitan (Jakarta), Kota Besar (Semarang), dan Kota Kecil (Jepara).

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah: untuk mengetahui persistensi koprostanol pada lingkungan sungai, muara, dan perairan pantai dengan melakukan kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri terseleksi dari air dan sedimen pada kondisi tiga tipologi kota yaitu Kota Metropolitan (Jakarta), Kota Besar (Semarang), dan Kota Kecil (Jepara).

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang persistensi koprostanol sebagai persyaratan kelayakan alternatif indikator pencemaran limbah domestik di lingkungan perairan pantai perkotaan di Indonesia pada kondisi musim kemarau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Karakteristik Perairan Sungai, Muara, dan Pantai

Daerah aliran sungai adalah sebuah kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografi yang menampung, menyimpan dan mengalirkan curah hujan yang jatuh di atasnya ke sungai utama dan kemudian mengalir ke danau atau ke laut. Sebuah DAS merupakan suatu kumpulan beberapa sub DAS yang lebih kecil.

Muara adalah perairan yang semi tertutup yang berhubungan bebas dengan laut, sehingga air laut yang memiliki salinitas tinggi dapat tercampur dengan air tawar (Supriharyono, 2000)

Air di daerah muara merupakan campuran antara air sungai dan air laut, akibatnya air di daerah ini mempunyai salinitas yang lebih rendah daripada lautan terbuka. Air tawar dari sungai yang memiliki densitas lebih kecil dari air laut cenderung untuk mengambang di atasnya. Di daerah ini juga terdapat fluktuasi perubahan salinitas yang berlangsung secara tetap yang berhubungan dengan gerakan air pasang. Masa air yang masuk ke dalam daerah muara pada waktu terjadi air surut hanya bersumber dari air tawar, akibatnya salinitas di daerah muara pada saat itu umumnya rendah. Pada waktu pasang, masa air masuk ke dalam muara dari air laut tercampur dengan air muara, sehingga salinitas akan naik.

Menurut Supriharyono (2000), kombinasi pengaruh air laut dan tawar tersebut akan menghasilkan suatu komunitas yang khas, dengan kombinasi lingkungan yang bervariasi, antara lain:

1. Tempat bertemunya arus air sungai dengan arus pasang-surut, yang berlawanan menyebabkan suatu pengaruh yang kuat pada sedimentasi, pencampuran air, dan ciri-ciri fisika lainnya, serta membawa pengaruh besar pada biotanya.
2. Pencampuran kedua masa air tersebut menghasilkan suatu sifat fisika lingkungan khusus yang tidak sama dengan sifat air sungai maupun air laut.
3. Perubahan yang terjadi akibat adanya pasang-surut mengharuskan biota yang hidup di daerah ini mengadakan penyesuaian secara fisiologi dengan lingkungan sekelilingnya.
4. Tingkat kadar garam di daerah muara tergantung pada pasang-surut air laut, banyaknya aliran air tawar dan arus-arus lain, serta topografi daerah muara tersebut.

Karena relatif murah dan mudah, perairan pesisir selama ini menjadi tempat pembuangan limbah dari berbagai macam kegiatan manusia baik yang berasal dari dalam wilayah pesisir maupun di luarnya (daratan dan lepas pantai). Pencemaran laut didefinisikan sebagai dampak negatif terhadap kehidupan biota, sumberdaya dan kenyamanan ekosistem laut serta kesehatan manusia dan nilai guna lainnya dari ekosistem laut yang disebabkan secara langsung maupun tidak langsung oleh pembuangan bahan-bahan atau limbah (termasuk energi) ke dalam laut yang berasal dari kegiatan manusia (Dahuri *et al.*, 1996).

Disamping itu sifat fisik wilayah pesisir dan lautan yang saling berhubungan dengan ekosistem lainnya (sungai, muara, dan pantai) juga membebani pencemaran wilayah pesisir dan lautan. Misalnya kegiatan pengolahan pertanian dan kehutanan yang buruk tidak saja merusak ekosistem sungai, tetapi juga akan menimbulkan dampak negatif pada perairan pesisir dan lautan.

Menurut Dahuri *et al.*, (1996), sumber pencemaran perairan pesisir dan lautan dapat dikelompokkan menjadi 7 kelas, yaitu: industri, limbah cair pemukiman, limbah cair perkotaan, pertambangan, pelayaran, pertanian dan perikanan budidaya. Bahan pencemar utama yang terkandung dalam buangan limbah dari ketujuh sumber tersebut berupa: sedimen, unsur hara (nutrien), logam beracun dan pestisida.

2.1.2. Pencemaran Limbah Domestik

Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama (Makarim, 2003).

Limbah domestik merupakan salah satu sumber utama pencemaran wilayah pantai dan akumulasi limbah tersebut di sedimen pada tingkat tertentu akan menyebabkan terjadinya pencemaran, khususnya pada perairan pantai yang dangkal dan bersifat semi tertutup. Limbah domestik dapat berupa material inorganik yang berupa gas, cairan dan padatan. Limbah padat dari sumber domestik dianggap bukan merupakan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), meskipun didalamnya kadang-kadang juga terdapat limbah itu (Pamdey dan Carney, 1991).

Pencemaran limbah domestik khususnya di perairan pantai di Negara sedang berkembang masih kurang mendapat perhatian serius bila dibandingkan dengan pencemaran limbah industri. Hal ini terjadi karena secara kuantitas debit limbah industri relatif lebih kecil, tetapi mempunyai peranan yang penting dalam penurunan kualitas air

karena umumnya mempunyai toksisitas yang tinggi. Namun demikian dengan terus meningkatnya aktivitas manusia di wilayah pesisir dan kesadaran akan pentingnya lingkungan yang bersih bagi kesehatan, estetika dan alasan ekologis lainnya, deteksi tentang kontaminasi limbah domestik menjadi penting untuk diketahui secara lebih baik.

2.1.3. Koprostanol Sebagai Indikator Kontaminasi Limbah Domestik

Identifikasi adanya pencemaran limbah domestik dalam suatu lingkungan merupakan hal yang penting berkaitan dengan kesehatan, estetika dan alasan ekologis lainnya (Barlett, 1987). Pencemaran dari limbah manusia dan hewan merupakan salah satu penyebab utama menurunnya kualitas air dan meningkatnya kandungan nutrisi di pantai dan saluran air di daratan. Karakteristik kimia dan biologi dari limbah domestik telah digunakan sebagai indikator kontaminasi limbah domestik, dan untuk mengidentifikasi daerah yang terkontaminasi dan mempunyai potensi terhadap bahaya kesehatan (Hatcher and McGillivray, 1979). Intestinal mikroorganisme, khususnya kelompok *coliform*, telah digunakan sejak lama sebagai indikator kualitas sanitasi air (Walker *et al.*, 1982).

Pada umumnya untuk menentukan secara langsung tiap organisme patogen tidak mudah dan atau membutuhkan biaya yang tidak murah, sehingga untuk kebutuhan pengelolaan kualitas air digunakan tingkat keberadaan organisme indikator. Pengukuran organisme indikator umumnya relatif mudah dan jumlahnya banyak pada feses manusia maupun hewan. Keberadaan organisme indikator tersebut di alam menunjukkan adanya kontaminasi limbah domestik, sehingga keberadaan organisme patogen harus diwaspadai (Dutka *et al.*, 1974; Chapra, 1997).

Menurut WHO dalam Thayib dan Razak (1983) untuk mengetahui tingkat pencemaran oleh bakteri *coliform* di perairan, limbah tanpa perlakuan mengandung $10^6 - 10^8$ per 100 ml, limbah yang mengalami perlakuan mengandung $10^4 - 10^6$ per 100 ml. Ambang *fecal coli* untuk perairan pantai yang dipakai untuk perairan pantai yang dipakai untuk rekreasi kontak langsung adalah 1000/100 ml, sementara buangan manusia mengandung *fecal coliform* untuk 10^9 cfu per gram feces.

Penggunaan bakteri *fecal coliform* sebagai indikator biologi untuk pencemaran limbah domestik di perairan pantai perkotaan yang umumnya padat pemukiman dan industri memiliki masalah, yaitu:

1. Pengaruh alamiah

Pengaruh ini terjadi pada saat aliran air dari sungai memasuki perairan pantai, Karena pada daerah ini terjadi perubahan salinitas dari salinitas rendah (air tawar) ke salinitas tinggi (air laut), yang akan mempengaruhi tingkat kematian bakteri (Barlett, 1987).

2. Pengaruh aktivitas manusia

Pada daerah perkotaan yang padat pemukiman dan aktivitas industri, tekanan terhadap lingkungan akan meningkat dengan adanya peningkatan volume limbah industri yang bersifat toksik dan bersuhu tinggi (Walker *et al.*, 1982), dan rendahnya kandungan oksigen terlarut pada aliran buangan yang masuk ke perairan pantai. Pada kondisi tersebut, pemanfaatan bakteri *fecal coliform* sebagai indikator biologi pencemaran limbah domestik tidak dapat mencerminkan kondisi lapangan.

Keberadaan koprostanol di alam berpotensi sebagai indikator kontaminasi *fecal coliform* (Coakley and Long, 1990). Umumnya limbah domestik didominasi oleh material organik, dimana padatan material organik limbah domestik saat masuk ke dalam perairan, sebagian terlarut dan sebagian lainnya tidak terlarut. Koprostanol merupakan bagian dari padatan material yang tidak terlarut dalam air (Walker *et al.*, 1982). Padatan material organik yang tidak terlarut ini akan terurai melalui proses biodegradasi, dan proses fisik yang menjadikan material tersebut menjadi partikel halus (*koloid*) (Pamdey and Carney, 1991). Material organik yang telah terurai menjadi partikel koloid, sebagian ada yang berinteraksi dengan air (*hidrofilik*) dan sebagian tidak bereaksi dengan air (*hidrofobik*). Koprostanol mempunyai sifat yang tidak larut di air, sehingga dalam bentuk koloid koprostanol berpotensi sebagai *hidrofobik*. Suatu koloid *hidrofobik* mempunyai sifat dapat terflokulasi. Koloid sedimen lempung (*clay*) juga merupakan koloid *hidrofobik*. Koloid koprostanol akan teradsorpsi oleh material organik yang terdapat pada koloid lempung dalam proses flokulasi. Koloid koprostanol yang telah terflokulasi dengan koloid lempung, kemudian mengalami transport bersama sedimen lempung oleh adanya pola arus dekat pantai. Hal ini menyebabkan sedimen lempung umumnya kandungan organik total atau koprostanol yang lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen debu (*silt*) dan pasir (*sand*). Namun demikian, material organik yang teradsorpsi pada sedimen dapat terlepas dengan adanya pencucian oleh pergerakan air.

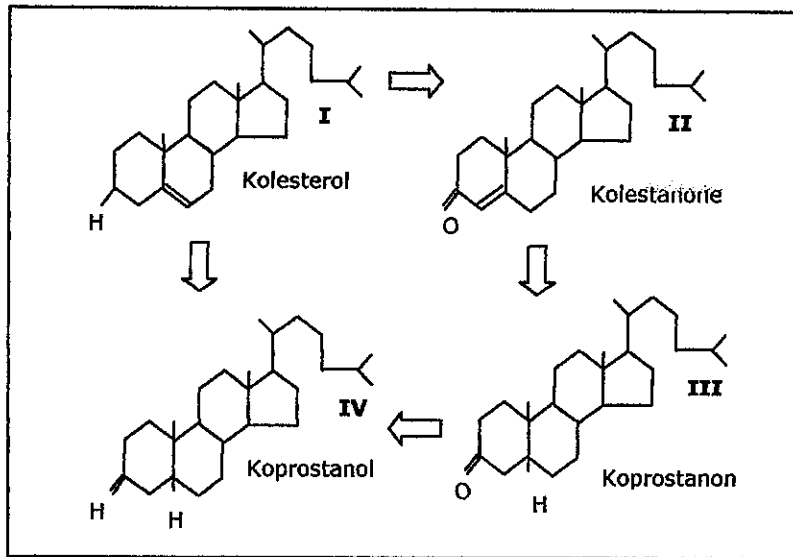
Berdasarkan penelitian Dureth *et al.*, (1986) didapatkan bahwa koprostanol terutama berasosiasi dengan sedimen tersuspensi dan hilangnya koprostanol di kolom air terutama

akibat sedimentasi selama terdistribusi. Penelitian ini juga mendukung bahwa koprostanol merupakan suatu indikator pencemaran feses yang berasal dari feses mamalia dan manusia.

Pola arus dekat pantai pada suatu daerah sangat dipengaruhi kondisi karakteristik setempat, seperti kondisi angin, gelombang pasang surut dan debit sungai yang akan mempengaruhi pembangkitan arus setempat. Pola penyebaran limbah domestik pada suatu perairan pantai dapat diketahui berdasarkan pola penyebaran indikator kontaminasi limbah domestik di sedimen dasar perairan.

2.1.4. Karakteristik Koprostanol (5β -cholestan- 3β -ol)

Koprostanol pertama kali diamati oleh Marcet pada pertengahan 1800, dengan mendapatkan zat yang dinamakan *excretine*, yang merupakan hasil kristalisasi ekstrak alkohol pada feses manusia. Berdasarkan data titik leleh dan solubilitas diketahui bahwa zat tersebut mengandung koprostanol, yang pertama kali diisolasi dan diteliti karakteristiknya pada tahun 1896 oleh Bondzynski dan Humnicki (Walker *et al.*, 1982), dan mendapatkan bahwa koprostanol merupakan hasil reduksi kolesterol oleh bakteri. Koprostanol merupakan sterol fecal dominan yang dihasilkan manusia, dan merupakan 40 – 60 % dari total sterol yang dikeluarkan (Walker *et al.*, 1982). Selain itu, koprostanol juga dihasilkan secara spesifik oleh hewan mamalia, seperti orang-utan, kera, babi, domba, sapi dan binatang pengerat, namun koprostanol tidak dihasilkan oleh biota laut dan unggas, kecuali ayam. Karena sumber koprostanol yang sangat spesifik, keberadaan koprostanol di alam berpotensi sebagai indikator kontaminasi limbah domestik di suatu lingkungan. Menurut Hatcher *et al.*, (1977) keberadaan fecal koprostanol (5β -cholestan- 3β -ol) di lingkungan perairan telah menunjukkan bahwa koprostanol merupakan indikator kimia untuk kontaminasi limbah domestik. Pada suhu ruang, koprostanol merupakan padatan kristal berwarna putih yang mempunyai titik leleh 101 °C, serta larut dalam ethanol, benzene, ether dan chloroform, tetapi tidak larut dalam air. Pembentukan koprostanol dapat secara biosintesis, esterifikasi dan peranan mikroba. Secara biosintesis ada dua alur pembentukan koprostanol seperti yang tercantum pada Gambar 1. Alur pertama akibat adanya *hidrogenasi stereospesifik* pada ikatan rangkap 5, 6 pada kolesterol (I ke IV), alur kedua diawali dengan adanya konversi dari kolesterol menjadi kolestanone (I ke II). Penurunan dari kolestanone akan membentuk koprostanone (II ke III). Koprostanone ini kemudian penurunannya membentuk koprostanol (III ke IV).



Gambar 1. Alur Pembentukan Koprostanol (Walker *et al.*, 1982)

Sedangkan pembentukan secara esterifikasi yang dinyatakan oleh Eyseen *et al.*, (1972) didapatkan sekitar 30 % koprostanol yang terdapat pada feses manusia berada dalam bentuk *ester*. Kemudian pembentukan secara peranan mikroba yang dilakukan oleh Kellogg (1972); Midvedt and Frederichsen (1977) mengamati pengaruh pemberian berbagai antibiotik kepada diet manusia (Walker *et al.*, 1982).

2.1.5. Biodegradasi Koprostanol

Degradasi mikrobial merupakan proses penting untuk menghilangkan bahan kimia organik dari perairan. Biodegradasi telah didefinisikan sebagai degradasi molekuler dari sebuah substansi organik yang dihasilkan dari reaksi kompleks pada organisme hidup. Biodegradasi berarti transformasi biologis dari sebuah bahan organik menjadi bentuk yang lain, atau dengan kata lain merupakan dekomposisi suatu zat atau substansi melalui aktivitas agen biologi terutama mikroorganisme. Secara umum biodegradasi ini kemudian dapat diartikan sebagai proses pembusukan yang dilakukan oleh mikroorganisme (Koncan and Dular, 1995; Bollag, 1992).

Dalam hal ini bakteri merupakan bagian yang penting dalam suatu ekosistem, melalui peranannya baik dalam proses mineralisasi, maupun dalam transformasi bahan-bahan organik menjadi bahan-bahan yang lebih sederhana dan mudah dicerna. Komposisi bakteri di perairan sangat bervariasi tergantung dari: kandungan bahan organik, pH, kekeruhan, temperatur dan sumber darimana bakteri tersebut berasal (Rheinheimer, 1992).

Edvantoro (2000) menyatakan bahwa secara alamiah, proses pemulihan kondisi lingkungan oleh mikroorganisme atau tumbuhan di suatu media yang tercemar sudah terjadi dengan sendirinya sebagai usaha dari ekosistem untuk menyeimbangkan siklus ekologi yang ada. Namun, proses tersebut sangat lamban karena kondisi fisik, biologis dan kimia di lokasi pencemaran yang kurang/tidak mendukung aktivitas makhluk hidup alamiah dalam mengurangi atau melenyapkan kadar bahan pencemar di ekosistemnya. Beberapa parameter seperti ketersediaan zat makanan dan optimalnya kondisi lingkungan (pH, suhu, kelembaban, oksigen) merupakan faktor pembatas yang sering menghalangi aktivitas mikroorganisme alamiah dalam melangsungkan proses pemulihan ekologi.

Murtaugh (1967) dan Smith (1968) dalam Walker *et al.*, (1982) menyatakan bahwa pengolahan limbah dengan lumpur aktif dapat menghasilkan efluen dengan koprostanol yang rendah atau bebas dari koprostanol. Penghilangan koprostanol dalam proses lumpur aktif pada prinsipnya termasuk dalam biodegradasi.

Koprostanol mengalami keterbatasan dalam biodegradasi pada sedimen anoksik, namun dapat terdegradasi secara aerob oleh bakteri. Koprostanol terdegradasi relatif cepat setelah diekskresi, dan biasanya hilang dalam 20 sampai 25 hari. Koprostanol telah digunakan untuk memonitor limbah dan untuk mendeteksi *fecal pollution* di wilayah perairan. Dengan ketidakhadiran populasi mamalia laut dalam jumlah besar atau binatang ternak, konsentrasi tinggi dalam sedimen kemungkinan dapat mengindikasikan polusi dari limbah fecal manusia (Mc.Corquodale, 1996; Anonim, 1998).

2.1.6. Bakteri Pendegradasi Koprostanol

Switzer-Howse dan Dutka (1978), Kirchmer (1971), Walker dan Wun (1977), dan Hasset (1977) dalam Walker *et al.*, (1982) telah meneliti biodegradasi koprostanol dalam lingkungan. Semua peneliti tersebut menemukan bahwa koprostanol dan kolesterol terdegradasi secara aerobik oleh bakteri yang secara alami terdapat dalam limbah dan perairan.

Druilhet *et al.*, (1968) dalam Walker *et al.*, (1982) telah melaporkan isolasi dari dua kultur bakteri *Pseudomonas* dan satu kultur dari *Bacillus* mampu untuk memanfaatkan kolesterol sebagai sumber karbon tunggal.

Kandungan mikroba dalam tanah atau perairan erat kaitannya dengan kemampuan suatu bakteri dalam mendekomposisi dan mendegradasi suatu senyawa organik yang kompleks menjadi senyawa-senyawa anorganik yang lebih sederhana seperti karbon dioksida, air, dan unsur mineral. Pada umumnya mikroorganisme mendekomposisi dan

mendegradasi suatu substansi organik untuk menghasilkan energi dan nutrisi bagi pertumbuhannya (Bollag, 1992).

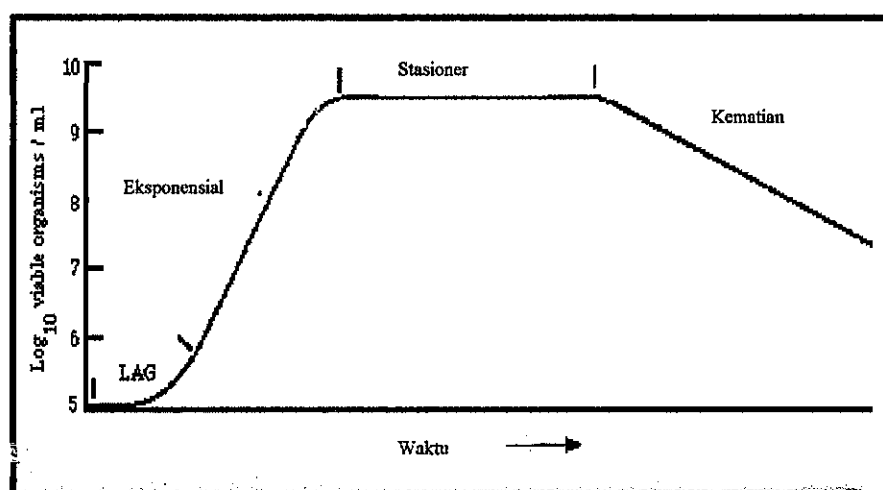
2.1.7. Sumber Karbon, Energi, dan Nutrien untuk Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan mikroorganisme tergantung dari tersedianya air. Bahan-bahan yang terlarut dalam air, yang digunakan oleh mikroorganisme untuk membentuk bahan sel dan memperoleh energi, adalah nutrisi (Schlegel and Schmidt, 1994).

Untuk terus dapat berkembang biak dan berfungsi secara baik, suatu organisme membutuhkan: a) sumber energi, b) karbon untuk pembentukan sel baru, dan nutrisi (elemen) inorganik, serta kisaran kondisi fisik yang mendukung seperti konsentrasi oksigen, suhu, dan pH (Metcalf and Eddy, 1991; Todar, 2001). Sumber karbon yang paling umum bagi mikroorganisme adalah senyawa organik dan karbondioksida. Organisme yang mengambil energinya dengan cara fotosintesis atau dengan cara mengoksidasi senyawa-senyawa anorganik dapat memanfaatkan CO_2 sebagai sumber karbon utama. Berdasarkan sumber karbon, mikroorganisme dibedakan menjadi heterotrof, bila memanfaatkan senyawa organik, dan autotrof bila memanfaatkan karbondioksida (Schlegel and Schmidt, 1994).

2.1.8. Kurva Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan populasi dipelajari dengan menganalisa kurva pertumbuhan dari kultur mikroba. Pertumbuhan organisme dihasilkan dari pembelahan biner yang dapat diplotkan dalam logaritma dari jumlah sel terhadap waktu inkubasi. Hasilnya kurva tersebut mempunyai empat fase yang berbeda yang dapat dilihat pada Gambar 2 (Prescott *et al.*, 1996).



Gambar 2. Kurva Pertumbuhan Bakteri (Brock *et al.*, 1996)

Fase pertumbuhan bakteri menurut Prescott *et al.*, (1996) dan Schegel and Schmidt (1994) sebagai berikut:

1. Fase Lag

Fase Lag mencakup interval waktu antara saat penanaman dan saat tercapainya kecepatan pembelahan maksimum. Lamanya tahap ini terutama tergantung dari biak awal, umur biakan yang ditanam, dan juga dari sifat larutan biak. Biasanya dalam fase ini tidak terjadi peningkatan yang cepat dalam jumlah sel dan massa.

Fase ini umumnya terjadi jika inokulum yang diambil dari sebuah media dengan komposisi yang berbeda, dan penundaan ini disebabkan oleh waktu yang diperlukan sel untuk mensintesis enzim yang diperlukan untuk metabolisme substrat yang baru.

2. Fase Eksponensial

Tahap pertumbuhan eksponensial atau logaritmik dicirikan oleh kecepatan pembelahan maksimum yang konstan. Mikroorganisme membelah diri dan menggandakan jumlah sel dengan interval yang teratur. Kecepatan pembelahan diri sepanjang tahap log bersifat spesifik untuk tiap jenis bakteri dan tergantung lingkungan. Pada sebuah biak statik juga terjadi perubahan-perubahan sel sepanjang pertumbuhan eksponensial, karena lingkungan juga terus berubah, konsentrasi substrat semakin berkurang, kerapatan sel bertambah, dan produk-produk metabolisme tertimbun.

3. Fase Stasioner

Fase ini dimulai apabila sel-sel sudah tidak mengalami pertumbuhan lagi dan kurva pertumbuhan menjadi horizontal. Fase stasioner biasanya terjadi pada bakteri pada tingkat populasi sekitar 10^9 sel per mL. Kecepatan pertumbuhan tergantung dari kadar substrat; menurunnya kecepatan pertumbuhan sudah terjadi ketika kadar substrat berkurang sebelum substrat habis terpakai. Selain karena keterbatasan substrat, juga kepadatan populasi yang tinggi, tekanan parsial oksigen yang rendah dan timbunan produk metabolisme yang toksik, dapat menurunkan kecepatan pertumbuhan dan mengintroduksi tahap stasioner.

4. Fase Kematian

Perubahan lingkungan yang merugikan seperti penurunan lingkungan dan penambahan limbah toksik menyebabkan penurunan dalam jumlah sel. Perubahan lingkungan tersebut merupakan karakteristik dari fase kematian. Kematian dari populasi mikroba, juga berlangsung secara eksponensial/logaritmik (terjadi kematian yang konstan dari proporsi sel setiap jam). Ada kemungkinan sel-sel dihancurkan oleh pengaruh enzim asal sel sendiri (otolisis).

2.1.9. Sedimen

Menurut McDowell and O'Conner (1977) sumber sedimen berasal dari erosi tanah akibat sungai dan aliran, aliran limbah domestik dan industri serta limbah padat, erosi pantai oleh aliran, erosi topografi pantai oleh angin, erosi dasar lautan, dasar pantai, material akibat pengerukan, dekomposisi dan sisa metabolisme binatang dan tumbuhan laut. Sedimen dapat diketahui berdasarkan sifat kimia dan sifat fisik yang dimiliki. Sifat fisik sedimen berkaitan dengan pergerakan sedimen, yaitu ukuran butir dan distribusi ukuran butir material sedimen.

Secara umum, ukuran butir sedimen dapat digunakan untuk mengetahui proses transportasi dan proses pemilahan (sortasi). Pada saat energi transport menurun akan menyebabkan penurunan besar ukuran butir yang terangkut, yang berarti sedimen dengan ukuran kasar akan terendapkan terlebih dahulu, dan sedimen yang halus akan terangkut lebih jauh.

Sedimen merupakan partikel bebas yang telah mengalami pengendapan, yang dapat berasal dari proses pelapukan, batu-batuan yang mengalami erosi, aktivitas makhluk hidup dan dari letusan gunung vulkanik, dari proses kimiawi di dalam air itu sendiri dan sedikit dari luar angkasa. Kecepatan pengendapan sedimen tersebut bervariasi antara beberapa centimeter per tahun sampai mencapai jumlah yang banyak setelah beberapa ribu tahun (Garrison, 1993).

2.2. Enzim

Enzim merupakan protein yang menganalisis seluruh proses biokimiawi dalam sel hayati yang sangat spesifik dan mangkus. Kemangkusan reaksi enzimatik ditunjukkan pada pengubahan yang tinggi pada suhu, pH, dan tekanan yang relatif rendah serta substrat dan jenis reaksi yang spesifik.

Proses untuk produksi biomassa atau metabolit merupakan hasil dari suatu rangkaian reaksi enzimatik yang terjadi di dalam sel mikroba. Selain itu, enzim juga dapat didayagunakan keaktifannya di luar sel setelah diisolasi dari cairan kultur atau ekstraksi sel. Teknik ini dapat memperkecil kerugian yang timbul dalam penggunaan sel secara keseluruhan. Fungsi suatu enzim ialah sebagai katalis untuk proses biokimia yang terjadi dalam sel maupun di luar sel. Suatu enzim dapat mempercepat reaksi 10^8 - 10^{11} kali lebih cepat daripada apabila reaksi tersebut dilakukan tanpa katalis. Jadi enzim dapat berfungsi sebagai katalis yang sangat efisien, di samping itu mempunyai derajat kekhasan yang tinggi. Seperti juga katalis lainnya, maka enzim dapat menurunkan energi aktivasi suatu

reaksi kimia. Reaksi kimia ada yang membutuhkan energi (reaksi endergonik) dan ada pula yang menghasilkan energi atau mengeluarkan energi (eksergonik). Enzim hanya bekerja pada satu reaksi saja. Untuk dapat bekerja terhadap suatu zat atau substrat harus ada hubungan atau kontak antara enzim dengan substrat. Suatu enzim mempunyai ukuran yang lebih besar daripada substrat. Hubungan antara substrat dengan enzim hanya terjadi pada bagian atau tempat tertentu saja. Tempat atau bagian enzim yang mengadakan hubungan atau kontak dengan substrat dinamai bagian aktif. Hubungan hanya mungkin terjadi apabila bagian aktif mempunyai ruang yang tepat dapat menampung substrat. Apabila substrat mempunyai bentuk/konformasi lain, maka tidak dapat ditampung pada bagian aktif suatu enzim. Dalam hal ini enzim tidak dapat berfungsi terhadap substrat. Hubungan atau kontak antara enzim dengan substrat menyebabkan terjadinya kompleks enzim-substrat. Kompleks ini merupakan kompleks yang aktif, yang bersifat sementara dan akan terurai lagi apabila reaksi yang diinginkan telah terjadi.

Faktor – faktor yang mempengaruhi kerja enzim:

1. Konsentrasi enzim

Kecepatan suatu reaksi yang menggunakan enzim tergantung pada konsentrasi enzim tersebut. Pada suatu konsentrasi substrat tertentu, kecepatan reaksi bertambah dengan bertambahnya konsentrasi enzim.

2. Konsentrasi substrat

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan konsentrasi enzim yang tetap, maka pertambahan konsentrasi substrat akan menaikkan kecepatan reaksi. Akan tetapi pada batas konsentrasi tertentu, tidak terjadi kenaikan kecepatan reaksi walaupun konsentrasi substrat diperbesar. Untuk dapat terjadi kompleks enzim substrat diperlukan adanya kontak antara enzim dengan substrat. Kontak ini terjadi pada suatu tempat atau bagian enzim yang disebut bagian aktif. Pada konsentrasi substrat rendah, bagian enzim ini hanya menampung substrat sedikit. Bila konsentrasi substrat diperbesar, makin banyak substrat yang dapat berhubungan dengan enzim pada bagian aktif tersebut. Dengan demikian konsentrasi kompleks enzim substrat makin besar dan hal ini menyebabkan makin besarnya kecepatan reaksi. Pada suatu batas konsentrasi substrat tertentu, semua bagian aktif telah dipenuhi oleh substrat atau telah jenuh dengan substrat. Dalam keadaan ini, bertambah besarnya konsentrasi substrat tidak menyebabkan bertambah besarnya konsentrasi kompleks enzim substrat, sehingga jumlah hasil reaksinya pun tidak bertambah besar.

3. Suhu

Oleh karena reaksi kimia itu dapat dipengaruhi oleh suhu, maka reaksi yang menggunakan katalis enzim yang dapat dipengaruhi oleh suhu. Pada suhu rendah reaksi kimia berlangsung lambat, sedangkan pada suhu yang lebih tinggi reaksi berlangsung lebih cepat.

Di samping itu, karena enzim itu adalah suatu protein, maka kenaikan suhu dapat menyebabkan terjadinya proses denaturasi. Apabila terjadi proses denaturasi, maka bagian aktif enzim akan terganggu dan dengan demikian konsentrasi efektif menjadi berkurang dan kecepatan reaksinya pun akan menurun.

4. Pengaruh pH

Seperti protein pada umumnya, struktur ion enzim tergantung pada pH lingkungannya. Enzim dapat berbentuk ion positif, ion negatif atau ion bermuatan ganda. Dengan demikian pH lingkungan akan berpengaruh terhadap efektivitas bagian aktif enzim dalam membentuk kompleks enzim substrat.

Di samping pengaruh terhadap struktur ion pada enzim, pH rendah atau pH tinggi dapat pula menyebabkan terjadinya proses denaturasi dan ini akan mengakibatkan menurunnya aktivitas enzim.

2.3. Rona Lingkungan Daerah Penelitian

2.3.1. Lokasi Penelitian Jakarta

Kota Jakarta merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata ± 7 m diatas permukaan laut, terletak pada posisi $6^{\circ}12'$ LS dan $106^{\circ}48'$ BT. Luas wilayah Propinsi DKI Jakarta adalah berupa daratan seluas $661,52 \text{ km}^2$ dan berupa lautan seluas $6.977,5 \text{ km}^2$. Terdapat pula sekitar 27 buah sungai/saluran/kanal yang digunakan sebagai sumber air minum, usaha peikanan dan usaha perkotaan. Di sebelah utara membentang pantai dari Barat sampai ke Timur sepanjang $\pm 35 \text{ km}$ yang menjadi tempat bermuaranya 9 buah sungai dan 2 buah kanal, sementara di sebelah Selatan dan Timur berbatasan dengan wilayah propinsi Jawa Barat, sebelah Barat dengan propinsi Banten sedangkan sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa. Wilayah administrasi propinsi DKI Jakarta terbagi menjadi 5 wilayah Kotamadya dan satu Kabupaten Administratif yaitu Kotamadya Jakarta Selatan, Jakarta Pusat, Jakarta Timur, Jakarta Barat dan Jakarta Utara dengan luas daratan seluas $145,73 \text{ km}^2$, $47,90 \text{ km}^2$, $187,73 \text{ km}^2$, $126,15 \text{ km}^2$ dan $154,01 \text{ km}^2$ serta Kabupaten Kepulauan Seribu.

Kadaan iklim Kota Jakarta secara umum beriklim panas dengan suhu maksimum udara $28,7^{\circ}\text{C}$ pada siang hari dan suhu minimum udara $26,0^{\circ}\text{C}$ pada malam hari.

Sementara itu curah hujan mencapai 2.288,9 mm dengan tingkat kelembaban udara mencapai 76,4 % dan kecepatan angin rata-rata mencapai 3,5 m/det.

Daerah di sebelah selatan dan timur Jakarta terdapat rawa dengan total luas mencapai 96,5 Ha. Kedua wilayah ini cocok digunakan sebagai daerah resapan air. Kegiatan industri lebih banyak terdapat di Jakarta Utara dan Jakarta Timur sedangkan untuk kegiatan usaha dan perkantoran banyak terdapat di Jakarta Barat, Jakarta Pusat dan Jakarta Selatan. Anak sungai Ciliwung yang menjadi lokasi penelitian melintasi beberapa wilayah kota dengan tingkat kepadatan yang dapat dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian Jakarta

NO.	Kecamatan	Luas (Ha)	Jml. Penduduk (Jiwa)	Tk. Kepadatan Penduduk (Jiwa/Ha)
1.	Keramatjati	1.334	267.945	201
2.	Jatinegara	1.064	351.236	330
3.	Senen	423	92.390	218
4.	Sawah Besar	592	101.973	172
5.	Pademangan	1.191	180.781	152
	JUMLAH	4.604	994.325	216 (Kelas I)

Sumber : Jakarta Dalam Angka, 2003.

2.3.2. Lokasi Penelitian Semarang

Kota Semarang memiliki letak geografis sebelah utara pada letak lintang $6^{\circ}50'$ LS dengan batas wilayah laut Jawa, sebelah selatan pada letak lintang $7^{\circ}10'$ LS dengan batas wilayah Kabupaten Semarang, sebelah barat pada letak lintang $109^{\circ}35'$ BT dengan batas wilayah Kabupaten Kendal dan sebelah timur letak lintang $110^{\circ}50'$ BT dengan batas wilayah Kabupaten Demak.

Luas wilayah Kota Semarang tercatat $373,70 \text{ km}^2$ yang terdiri dari 16 wilayah kecamatan dan 177 kelurahan. Luas yang ada terdiri dari $40,03 \text{ km}^2$ (10,71 %) tanah sawah dan $333,67 \text{ km}^2$ (89,29 %) bukan lahan sawah.

Suhu udara rata-rata di Semarang berkisar antara 26°C sampai dengan $27,9^{\circ}\text{C}$. Kelembaban udara rata-rata bervariasi dari 69 % sampai dengan 84 %.

Letak geografi kota Semarang termasuk beriklim tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan bersamaan dengan monsun barat dan musim kemarau bersamaan dengan monsun timur yang silih berganti sepanjang tahun. Sungai Banjir Kanal Timur yang menjadi tempat penelitian melintasi beberapa wilayah kecamatan dan tingkat kepadatan penduduk yang dapat dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian Semarang

N0.	Kecamatan	Luas (Ha)	Jml. Penduduk (Jiwa)	Tk. Kepadatan Penduduk (Jiwa/Ha)
1.	Gayamsari	526,33	62,429	119
2.	Semarang Timur	770,06	84,961	110
3.	Pedurungan	2.072,00	133,739	65
4.	Semarang Slt	848,05	77.813	92
5.	Tembalang	871,77	99.813	114
6.	Semarang Utara	1.175,28	122.744	104
	JUMLAH	6.263,70	581.337	93 (Kelas I)

Sumber : Semarang Dalam Angka, 2003

2.3.3. Lokasi Penelitian Jepara

Kota Jepara memiliki letak geografis $5^{\circ}43'30''$ LS dengan batas wilayah laut Jawa, sebelah selatan pada letak lintang $6^{\circ}47'44''$ LS dengan batas wilayah Kabupaten Demak, sebelah barat pada letak lintang $112^{\circ}23'20''$ BT dengan batas wilayah laut Jawa dan sebelah timur pada letak lintang $113^{\circ}09'35''$ BT dengan batas wilayah Kabupaten Kudus dan Pati.

Luas wilayah kota Jepara 1.004,132 km² yang terdiri dari 14 wilayah kecamatan. Luas wilayah terdiri dari tanah persawahan 26.415,392 Ha yang terdiri dari sawah pengairan teknis, tadah hujan, pasang surut dan lain sebagainya dan 79.997,797 Ha berupa tanah kering meliputi tanah untuk bangunan, tegalan, padang rumput, rawa, tambak, hutan negara, perkebunan dan lain sebagainya. Sungai Demaan yang menjadi tempat penelitian melintasi wilayah Kecamatan Jepara yang terdiri dari beberapa wilayah Kelurahan dengan tingkat kepadatan penduduk yang dapat dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian di Jepara

N0.	Kecamatan	Jml Penduduk (Jiwa)	Jml Penduduk (Jiwa)	Tk. Kepadatan Penduduk (Jiwa / Ha)
1.	Batealit	8.887,865	72.010	8
2.	Tahunan	3.890,581	92.005	21
3.	Jepara	2.466,700	72.597	27
	JUMLAH	15.245,146	263.612	16 (Kelas III)

Sumber : Jepara Dalam Angka, 2003

2.4. Originalitas Penelitian

Penelitian kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri terseleksi dari air dan sedimen pada kondisi lingkungan yang berbeda yaitu sungai, muara, dan perairan pantai serta pada tiga tipologi kota yang berbeda (Jakarta, Semarang, dan Jepara) belum pernah dilakukan.

BAB III

METODA PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui persistensi koprostanol sebagai alternatif bioindikator pencemaran limbah domestik dengan melakukan uji kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri terseleksi dari air dan sedimen. Tahapan penelitian dimulai dari studi pustaka, pengumpulan data sekunder permasalahan yang akan diteliti, penelitian lapangan untuk mengambil sampel, penelitian laboratorium untuk mengamati variabel yang diteliti, pengolahan data, analisis dan pembahasan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental laboratory. Penelitian eksperimental merupakan penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan saling hubungan sebab akibat dengan cara mengenakan kepada satu atau lebih eksperimental, satu atau lebih kondisi perlakuan dan membandingkan hasilnya dengan satu atau lebih kelompok kontrol yang telah dikenai kondisi perlakuan (Suryabrata, 1993).

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Faktorial Rancangan Acak Kelompok dengan dua ulangan. Faktor yang diuji digolongkan menjadi 3 kelompok antara lain: lokasi (Jakarta, Semarang, dan Jepara), lingkungan (sungai, muara, dan laut); dan habitat (air dan sedimen). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan isolat terbaik, yaitu isolat bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi koprostanol yang paling baik.

Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan beban cemaran yang diterima oleh perairan, jumlah dan jenis sumber pencemar, studi literatur, serta pengamatan di lapangan. Penelitian dimulai dengan menyiapkan isolat murni terseleksi dari 3 (lokasi) yaitu Jakarta, Semarang dan Jepara. Ada beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu tahap persiapan yang meliputi pembuatan medium Zobell 2216 E dan pemeliharaan kultur murni bakteri, serta tahap uji biodegradasi koprostanol yang meliputi uji pendahuluan dan uji kinetika pertumbuhan dan penggunaan koprostanol oleh bakteri terseleksi pada media miskin hara yang mengandung koprostanol (Gambar 3).

3.2. Ruang Lingkup Penelitian

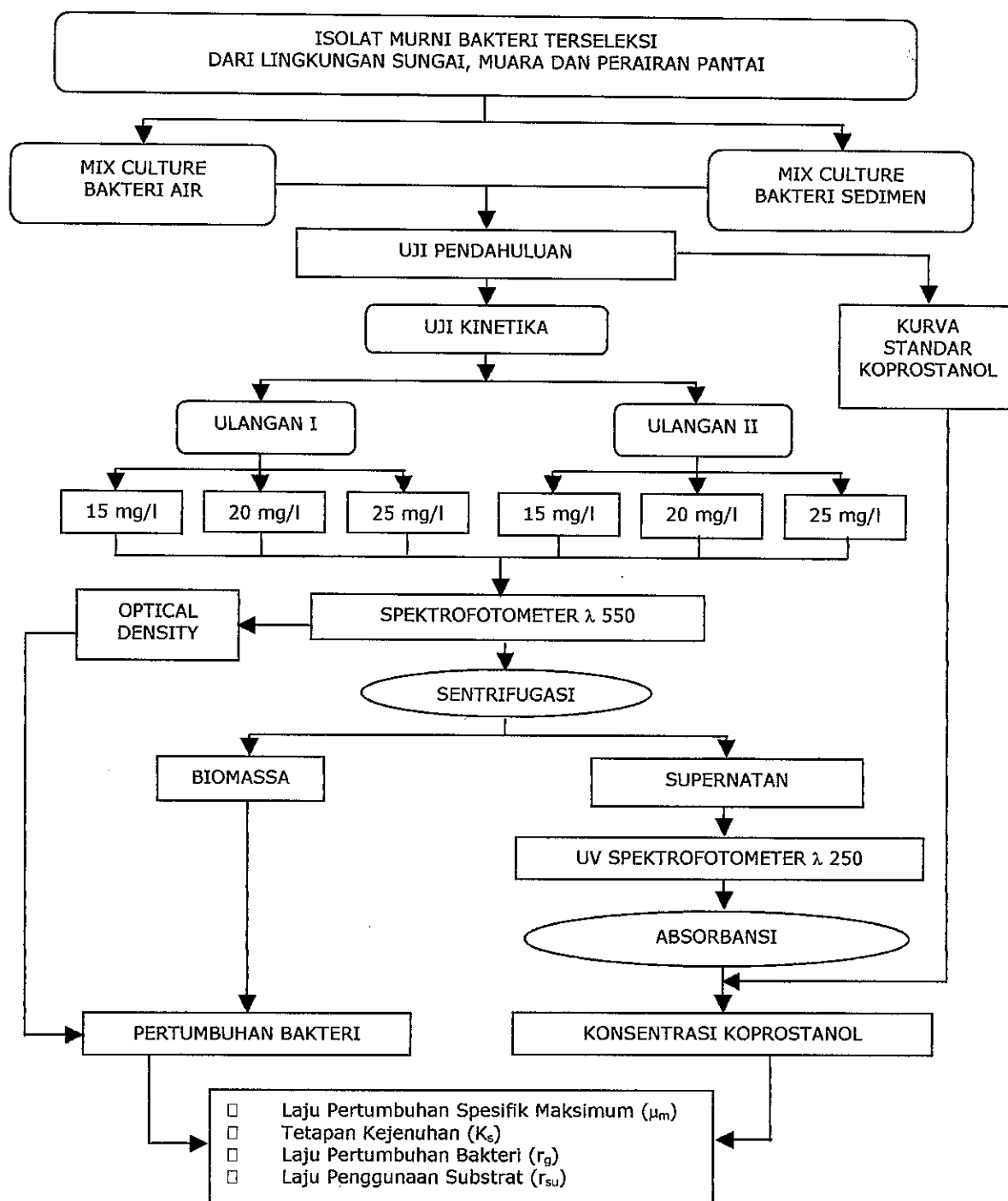
Ruang Lingkup Penelitian meliputi uji laboratorium tentang penentuan jumlah bakteri pendegradasi koprostanol terseleksi yang telah diisolasi dan diidentifikasi dari sampel air dan sedimen yang didapat dari lingkungan sungai, muara dan perairan pantai pada 3 (tiga) lokasi penelitian saat musim kemarau, dimana proses isolasi dan identifikasi telah dilakukan pada penelitian Munir (2004) sebelumnya. Sehingga pada penelitian ini tidak langsung menggunakan sampel air dan sedimen namun sudah berupa biota uji (3 bakteri terseleksi) yang akan diuji kinetika biodegradasinya terhadap koprostanol.

3.3. Waktu dan Lokasi Penelitian

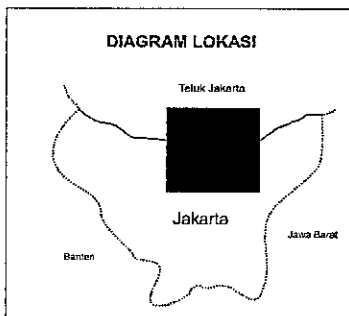
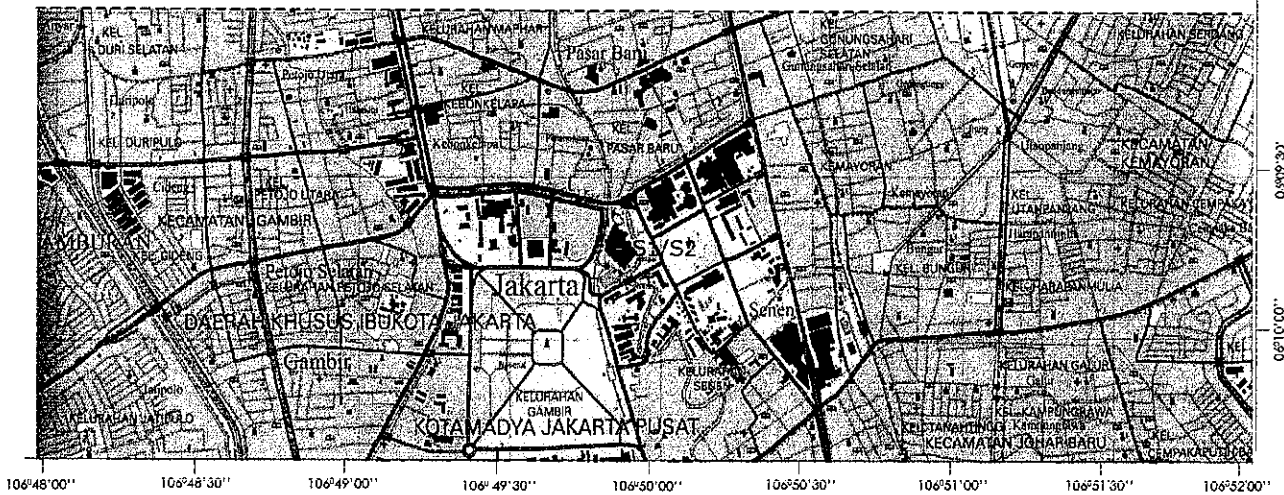
Penelitian dilaksanakan pada bulan April – Oktober 2004. Pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan pada saat musim kemarau di sungai, muara, dan perairan pantai pada kota Jakarta, Semarang, dan Jepara. Uji kinetika biodegradasi koprostanol dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Oseanografi Kimia Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNDIP Jepara. Adapun analisa UV Spektrofotometer di Laboratorium Instrumen Kimia Organik Fakultas MIPA UGM Yogyakarta.

Lokasi penelitian yang dipilih diharapkan dapat mewakili berbagai kondisi lingkungan perairan sungai, muara, dan perairan pantai di kota:

- a. Jakarta lokasi yang diambil, Sungai Ciliwung, Muara Ciliwung dan perairan pantai Ancol Jakarta, mewakili kota Metropolitan (Gambar 4);
- b. Semarang lokasi yang diambil, Sungai Banjir Kanal Timur, Muara Banjir Kanal Timur dan perairan pantai Semarang, mewakili kota Besar (Gambar 5);
- c. Jepara lokasi yang diambil, Sungai Demaan, Muara Demaan dan perairan pantai Kartini, mewakili kota Kecil (Gambar 6).



Gambar 3. Tahapan Penelitian



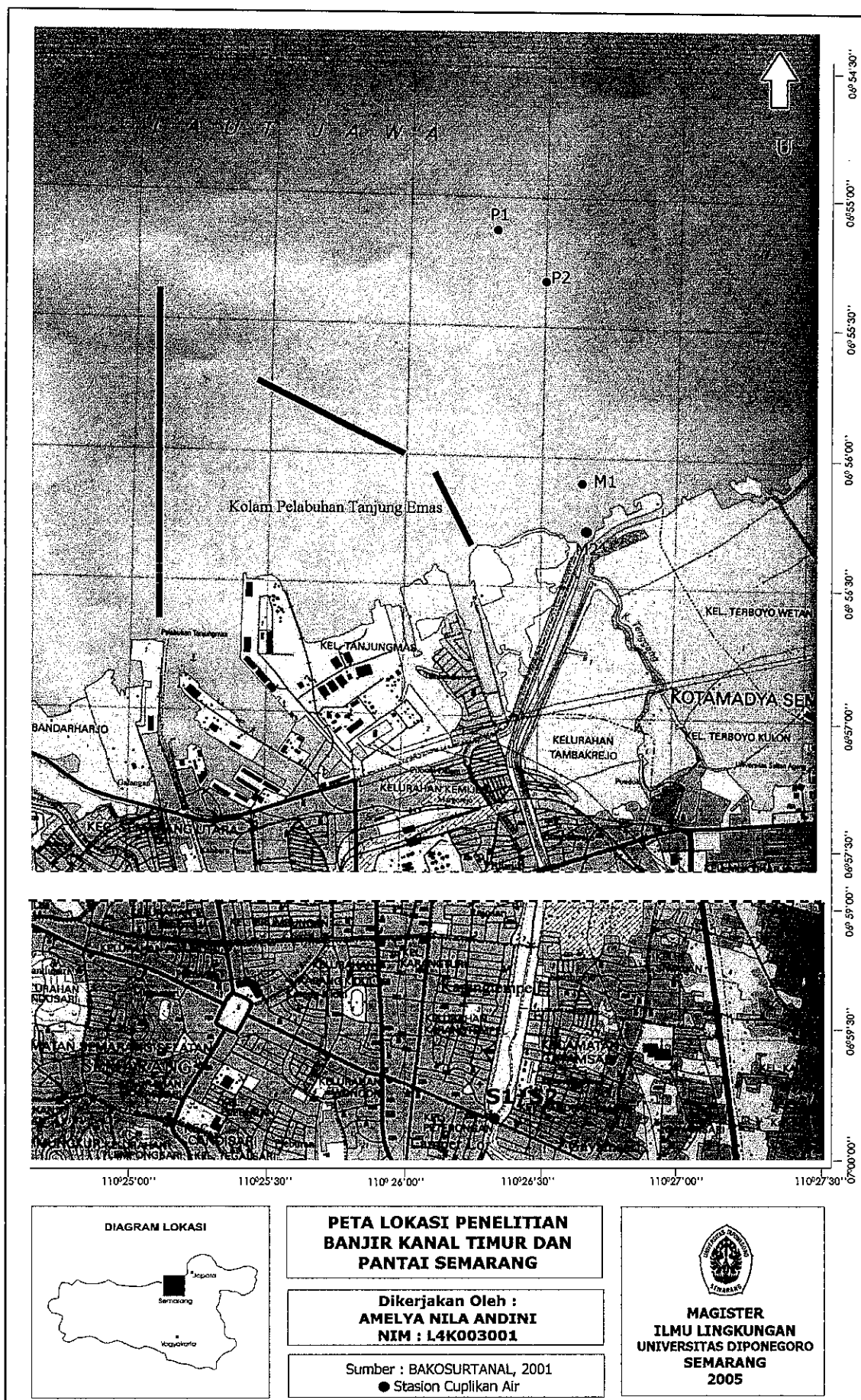
Dikerjakan Oleh :
AMELYA NILA ANDINI
NIM : L4K003001

Sumber : BAKOSURTANAL, 2001
● Stasiun Cuplikan Air

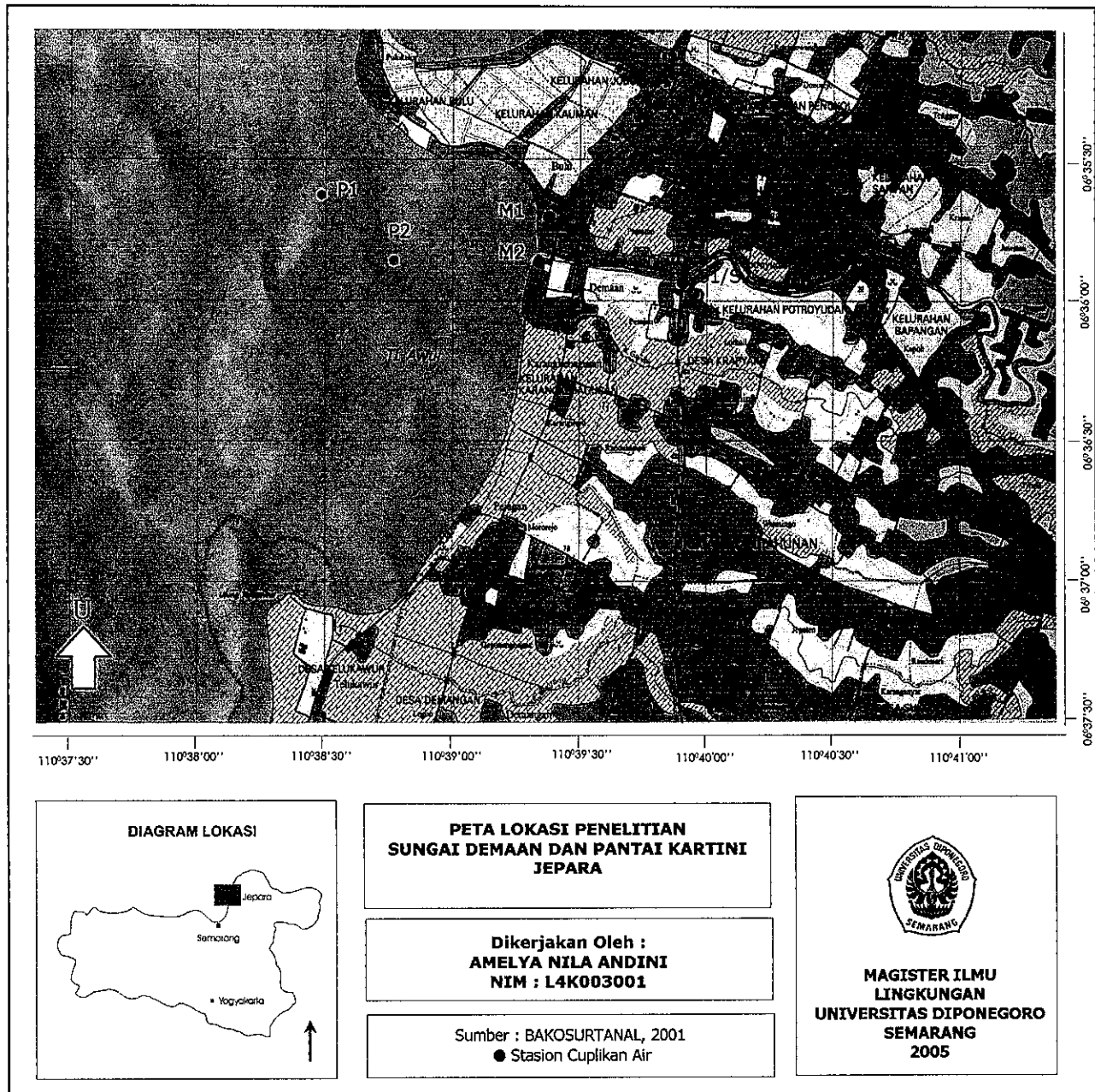


MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2005

Gambar 4. Lokasi Pengambilan Sampel di Jakarta



Gambar 5. Lokasi Pengambilan sampel di Semarang



Gambar 6. Lokasi Pengambilan Sampel di Jepara

3.4. Jenis dan Sumber Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam analisis berupa data primer dan sekunder yang diperoleh dari perlakuan di lapangan dan pengamatan percobaan di laboratorium.

Tabel 4. Jenis dan Sumber Data

Jenis Data	Sumber Data	Keterangan
Primer	1. Pengamatan dan pengukuran Lapangan 2. Analisis Laboratorium	1. Kondisi fisik lingkungan: DO, pH, suhu, salinitas dan kedalaman. 2. Konsentrasi kopsrostanol
Sekunder	1. Pustaka 2. Buku laporan dari Instansi terkait meliputi: BPS, Bappeda, Bapedal, dan BMG	1. Hasil penelitian lain yang relevan 2. Demografi sosial penduduk, curah hujan, pasang surut, Arah dan kecepatan angin, tata guna lahan dan data pendukung lain.

3.5. Instrumen Penelitian

3.5.1. Alat

Tabel 5. Alat yang digunakan dalam penelitian

No	Alat	Kegunaan
1.	<i>Inkubator</i>	Menginkubasi biakan
2.	<i>Autoklaf</i>	Sterilisasi alat dan bahan
3.	Tabung reaksi	Media agar dan kultur bakteri
4.	<i>Jarum ose</i>	<i>Inokulasi</i> koloni bakteri
5.	Lampu bunsen	Membuat aseptik saat <i>inokulasi</i> bakteri
6.	<i>Erlenmeyer</i>	Tempat pembuatan media
7.	Pipet ukur	Mengambil media cair
8.	Gelas ukur	Mengukur volume media cair
9.	Mikropipet	Mengukur media cair
10.	Neraca analitik	Menimbang bahan yang akan digunakan untuk membuat media
11.	<i>Centrifuge</i>	Sentrifugasi
12.	<i>Hot plate</i>	Memanaskan media
13.	<i>Magnetic stirrer</i>	Homogenisasi media
14.	<i>Orbital Shaker</i>	Kultur Bakteri
15.	Spektrofotometer	Mengukur turbiditas dan pertumbuhan bakteri

Lanjutan Tabel 5.

16.	Cotton plug	Penutup tabung reaksi
17.	Tissue	Membersihkan alat-alat
18.	Parafilm	Perekat tabung reaksi agar tidak terkontaminasi
19.	Yellow tip	Memindah larutan/sampel dalam jumlah kecil
20.	Aluminiumfoil	Pelindung media
21.	Rak Tabung	Tempat tabung yang berisi media
22.	Kulkas	Menyimpan media
23.	Oven	Mengeringkan sampel
24.	Cuvet	Media uji
25.	UV-Spektrofotometer	Analisa supernatan

3.5.2. Bahan

Bahan yang digunakan:

1. Isolat bakteri air dan sedimen pada musim kemarau dari perairan Jakarta, Semarang, dan Jepara yang diambil di sungai, muara, dan perairan pantai.
2. Media biakan bakteri yaitu nutrien agar dan Zobell 2216 E.
3. Koprostanol
4. Aquades steril
5. Air laut Steril

3.6. Teknik Pengambilan Data**3.6.1. Pembuatan Media Zobell 2216 E**

Pembuatan media Zobell 2216 E padat (*half strength*) dilakukan dengan mengikuti prosedur yang dilakukan oleh Sabdono (2001), dengan komposisi bahan sebagai berikut:

- | | |
|-------------------|----------|
| 1. Pepton | 2,5 gram |
| 2. Agar | 15 gram |
| 3. Ekstrak yeast | 0,5 gram |
| 4. Akuades steril | 1000 ml |

Bahan-bahan di atas dimasukkan dalam erlenmeyer, lalu dipanaskan di atas *magnetik stirrer with hot plate* hingga mendidih dan homogen, kemudian diautoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit. Pembuatan medium Zobell 2216 E cair dilakukan dengan cara yang sama, namun tidak mengandung agar.

3.6.2. Pemeliharaan Kultur Murni Bakteri

Pemeliharaan kultur murni dari isolat bakteri terseleksi yang telah didapatkan dilakukan dengan cara mentransfer isolat bakteri ke dalam media agar miring Zobell 2216 E yang baru dengan teknik goresan (*streak method*), agar kebutuhan nutrisi bakteri tercukupi.

3.6.3. Kinetika Biodegradasi Koprostanol Oleh Bakteri Terseleksi

Proses biodegradasi di alam merupakan hasil sinergis dari aktivitas metabolisme berbagai bakteri, maka uji kinetika biodegradasi koprostanol diujikan oleh bakteri terseleksi yang mempunyai potensi mendegradasi koprostanol. Untuk mendapatkan gambaran proses biodegradasi koprostanol pada saat transportasi di sedimen dan air, maka uji kinetika biodegradasi koprostanol menggunakan bakteri sedimen dan bakteri air di lingkungan sungai, muara, dan laut. Uji kinetika ini menggunakan Persamaan Monod, yang prosedurnya mengacu pada Metcalf dan Eddy (1991). Tahapan kegiatan uji kinetika biodegradasi koprostanol adalah sebagai berikut:

1. Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk mengetahui karakteristik laju pertumbuhan bakteri di lingkungan sungai, muara, dan laut yang hasilnya kemudian akan digunakan sebagai pedoman untuk melakukan uji biodegradasi lebih lanjut. Tahap ini menggunakan lima konsentrasi koprostanol dalam pelarut *etanol*, yaitu konsentrasi 5, 10, 15, 20 dan 25 mg/l yang diukur absorbansinya dalam UV spektrofotometer. Nilai absorbansi tersebut kemudian diplotkan terhadap konsentrasi koprostanol, sehingga didapatkan kurva standar.

2. Uji Kinetika Biodegradasi Koprostanol

Uji kinetika pertumbuhan bakteri dan penggunaan koprostanol dilakukan dengan dua ulangan pada 3 variasi media Zobell 2216E *1/5 strength* dan aquades untuk sungai, air laut steril untuk muara dan perairan pantai dalam erlenmeyer volume 50 ml yang mengandung konsentrasi koprostanol 15 µg/ml, 20 µg/ml, 25 µg/ml.

Isolat bakteri diinokulasi sebanyak 1 ose ke dalam media Zobell 2216E *1/2 strength* dan diinkubasikan selama 2x24 jam pada suhu kamar dengan digoyang (*agitasi*) pada 250 rpm. Setelah diinkubasikan selama 2x24 jam, diambil 100 µl dari konsorsium bakteri ke dalam beberapa erlenmeyer dengan berbagai konsentrasi koprostanol tersebut diatas dan diagitasi dengan shaker pada kecepatan 250 rpm.

a). Pengambilan Sampel untuk Kinetika Pertumbuhan

Pengambilan sampel dengan interval $\frac{1}{2}$, 1, 2, dan 4 jam selama 30 jam sebanyak 3 ml/sampel. Nilai turbiditasnya diukur pada panjang gelombang 550 nm dengan spektrofotometer pada masing-masing interval tersebut. Dasar penggunaan interval tersebut yaitu mengacu pada penelitian studi kinetika pertumbuhan bakteri pendegradasi senyawa herbisida oleh Mohammad (2002) yang menggunakan interval dari $\frac{1}{2}$ sampai dengan 8 jam selama 48 jam, namun untuk keefektifan penggunaan koprostanol, oleh karena pada pengamatan jam ke-30 sudah terjadi fase stasioner dan terjadi penurunan nilai turbiditas serta fase eksponensial sudah terlampaui, maka hanya diambil data sampai dengan 30 jam pengamatan.

b). Pemisahan Supernatan dan Biomassa yang Terbentuk

Setelah diukur turbiditasnya, kemudian sampel disentrifugasi untuk memisahkan supernatan dan biomassa. Sentrifugasi sampel selama 30 menit pada 10.000 rpm. Supernatan yang diperoleh dari hasil sentrifugasi dipisahkan dengan biomassa secara hati-hati dengan menggunakan *yellow tip* dan mikro pipet di atas bunsen. Setelah dipisahkan dari biomassa supernatan kemudian dikeringkan dalam oven suhu 70°C , setelah agak kering ditambahkan ethanol sebanyak 2 ml dan segera disimpan dalam *freezer* sampai analisa koprostanol dilaksanakan.

Biomassa didapatkan dari hasil pemisahan dengan supernatan yang dicuci dengan air dan dikeringkan pada suhu 80°C selama 24 jam setelah itu berat kering biomassa ditimbang.

c). Analisis Konsentrasi Koprostanol di Supernatan.

Supernatan kemudian dianalisa dengan UV-Spektrofotometer untuk mengetahui perubahan konsentrasi koprostanol dalam sampel. Analisa UV-Spektrofotometer dilakukan pada panjang gelombang 250 nm. Setelah nilai absorbansi didapat, kemudian diplotkan terhadap kurva standar konsentrasi koprostanol.

Perhitungan kinetika pertumbuhan dan penggunaan substrat dilakukan pada fase eksponensial, sehingga kinetika pertumbuhan dan penggunaan substrat pada berbagai konsentrasi dapat dibandingkan. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan Model Monod (Grady and Lim, 1980), dengan metode perhitungan sebagai berikut:

A. Biomassa Bakteri yang Terbentuk (B)

$$B = (B_t - B_0) \quad (3-1)$$

Keterangan :

- B : Biomassa bakteri yang terbentuk (gram/liter)
- B_t : Berat akhir (gram)
- B_0 : Berat awal (gram)

B. Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g)

$$r_g = \mu \cdot x \quad (3-2)$$

Keterangan :

- r_g : Laju pertumbuhan bakteri (massa/unit volume.waktu)
- μ : Laju pertumbuhan spesifik (waktu⁻¹)
- x : Konsentrasi sel (massa/unit volume)

$$\text{karena } dx/dt = r_g \text{ maka } dx/dt = \mu \cdot x \quad (3-3)$$

C. Laju Pertumbuhan Spesifik (μ)

$$\mu = \mu_{\text{maks}} \frac{S}{K_s + S} \quad (3-4)$$

Keterangan :

- μ : Laju pertumbuhan spesifik (waktu⁻¹)
- μ_{maks} : Laju pertumbuhan spesifik maksimum (waktu⁻¹)
- S : Konsentrasi substrat pada media (massa/volume)
- K_s : Tetapan kejenuhan, yaitu konsentrasi substrat pada $\mu = 1/2 \mu_{\text{maks}}$ (massa/volume)

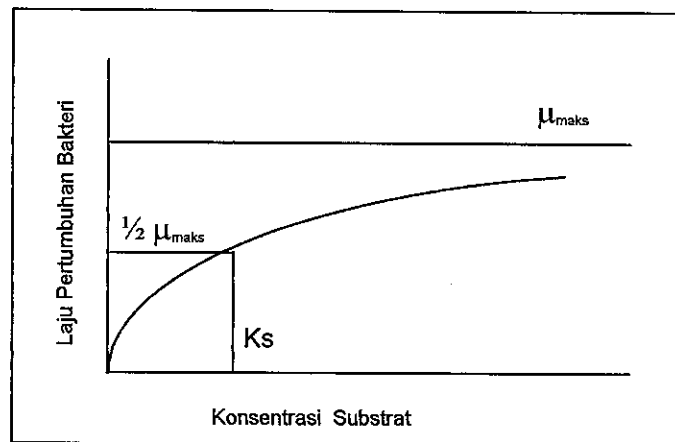
D. Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g)

Pengaruh konsentrasi substrat terhadap laju pertumbuhan spesifik dan penentuan K_s . Jika harga μ pada persamaan (3-4) menggantikan harga μ pada persamaan (3-2), maka

akan menghasilkan persamaan laju pertumbuhan :

$$r_g = \frac{\mu_{maks} \cdot XS}{K_s + S} \quad (3-5)$$

E. Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks})

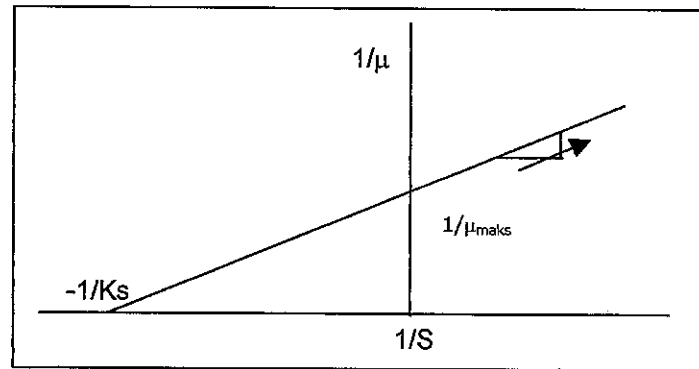


Gambar 7. Model Monod Pertumbuhan Mikroba (Metcalf and Edy, 1991)

Menentukan μ_{maks} , dilakukan linearisasi harga-harga μ dari berbagai konsentrasi substrat (S), dengan menggunakan persamaan Lineweaver-Burk terhadap persamaan Monod (3-4). Dari hasil penerapan tersebut, akan didapatkan persamaan linear sebagai berikut :

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_{maks}} + \frac{K_s}{\mu_{maks} \cdot S} \quad (3-6)$$

Berdasarkan persamaan linear tersebut, maka dapat diplot data laju pertumbuhan spesifik bakteri (μ) dari berbagai konsentrasi substrat yang diujikan (S), maka nilai μ_m dan K_s dapat diketahui (Gambar 8).



Gambar 8. Linearisasi Lineweaver-Burk terhadap Persamaan Monod (Metcalf dan Eddy, 1991)

Kultur statik maupun kontinyu, sebagian substrat akan terkonversi menjadi sel yang baru dan sebagian lagi teroksidasi menjadi produk organik dan anorganik. Karena jumlah sel baru yang dihasilkan telah diamati dapat terus berkembangbiak dengan substrat yang ada, maka telah dikembangkan hubungan antara laju penggunaan substrat dengan laju pertumbuhan sebagai berikut :

$$r_g = -Y \cdot r_{su} \quad (3-7)$$

Keterangan :

- r_g : Laju pertumbuhan bakteri (massa/unit volume.waktu)
- r_{su} : Laju penggunaan substrat (massa/unit volume.waktu)
- Y : Koefisien hasil maksimum (koefisien konversi) (mg)

F. Laju penggunaan substrat (r_{su})

Jika harga r_g pada persamaan (3-5) menggantikan harga r_g pada persamaan (3-7), maka laju penggunaan substrat dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$r_{su} = -\frac{\mu_{maks} \cdot XS}{Y(Ks + S)} \quad (3-8)$$

Persamaan (3-8), faktor μ_{maks}/Y sering digantikan dengan faktor k , yang dinyatakan sebagai laju maksimum penggunaan substrat per unit massa mikroorganisme :

$$k = \mu_{maks} / Y \quad (3-9)$$

Jika faktor k menggantikan faktor μ_{maks}/Y pada persamaan (3-8), maka dihasilkan persamaan:

$$r_{su} = -\frac{KxS}{Ks + S} \quad (3-10)$$

3.7. Analisa Data

Analisa data dengan menggunakan metode deskriptif yaitu metode yang membicarakan kemungkinan untuk memecahkan masalah aktual, dengan jalan mengumpulkan data menyusun, mengklasifikasikan, menganalisa, dan menginterpretasikan (Surakhmad, 1989).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan uji kinetika pertumbuhan dengan pengukuran turbiditas terhadap larutan biak bakteri pada interval waktu tertentu dan pada konsentrasi koprostanol 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm didapatkan pola kurva pertumbuhan bakteri air dan sedimen.

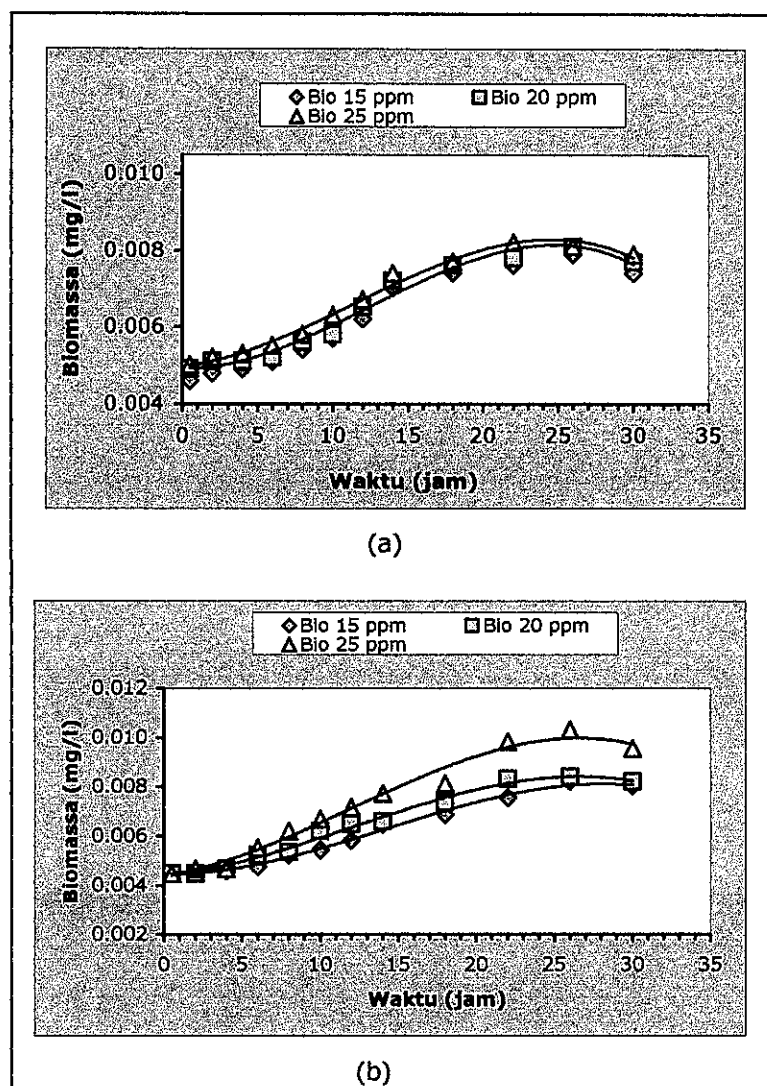
Judoamidjojo, dkk. (1992) menyatakan bahwa kurva pertumbuhan bakteri terbagi dalam tiga fase yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stationer. Fase lag berlangsung segera setelah inokulasi pada medium nutrisi dan merupakan periode adaptasi, dimana pada kurva pertumbuhan pada Gambar 9 menunjukkan fase lag berlangsung dari awal inokulasi sampai dengan jam ke - 6. Sedangkan fase eksponensial merupakan periode pertumbuhan seimbang/status mantap dengan laju pertumbuhan sama. Awal fase eksponensial pada masing-masing Mix culture dimulai pada jam ke - 6. Fase stasioner ditandai dengan sel bakteri berhenti membelah diri atau sudah tidak tumbuh lagi, dimana fase stasioner pada Mix culture bakteri air dalam konsentrasi koprostanol 25 ppm menunjukkan perbedaan (lebih cepat yaitu pada jam ke -22) daripada fase stasioner pada konsentrasi 15 dan 20 ppm. Hal ini terjadi akibat perbedaan kadar substrat yang mempengaruhi kecepatan pertumbuhan/lamanya fase eksponensial (Schlegel and Schmidt, 1994).

Kecepatan pertumbuhan/kecepatan pembelahan diri bakteri ditentukan pada fase eksponensial/fase log, dimana menurut Schlegel and Schmidt (1994) kecepatan pembelahan diri pada tahap ini relatif konstan. Laju pertumbuhan spesifik diperoleh dari grafik linier \ln biomassa terhadap waktu pada fase log. Terdapat perbedaan dalam nilai laju pertumbuhan spesifik (μ) pada berbagai konsentrasi dalam Mix culture bakteri air dan sedimen, karena setiap konsentrasi yang berbeda menimbulkan perbedaan tingkat adaptasi yang mempengaruhi besarnya laju pertumbuhan spesifik. Menurut Richana *et al.* (1999), laju pertumbuhan spesifik (μ) besarnya tidak sama pada berbagai konsentrasi, tergantung pada kondisi lingkungan fisika dan kimia, seperti: kandungan oksigen terlarut (DO).

4.1. Lokasi Penelitian Jakarta

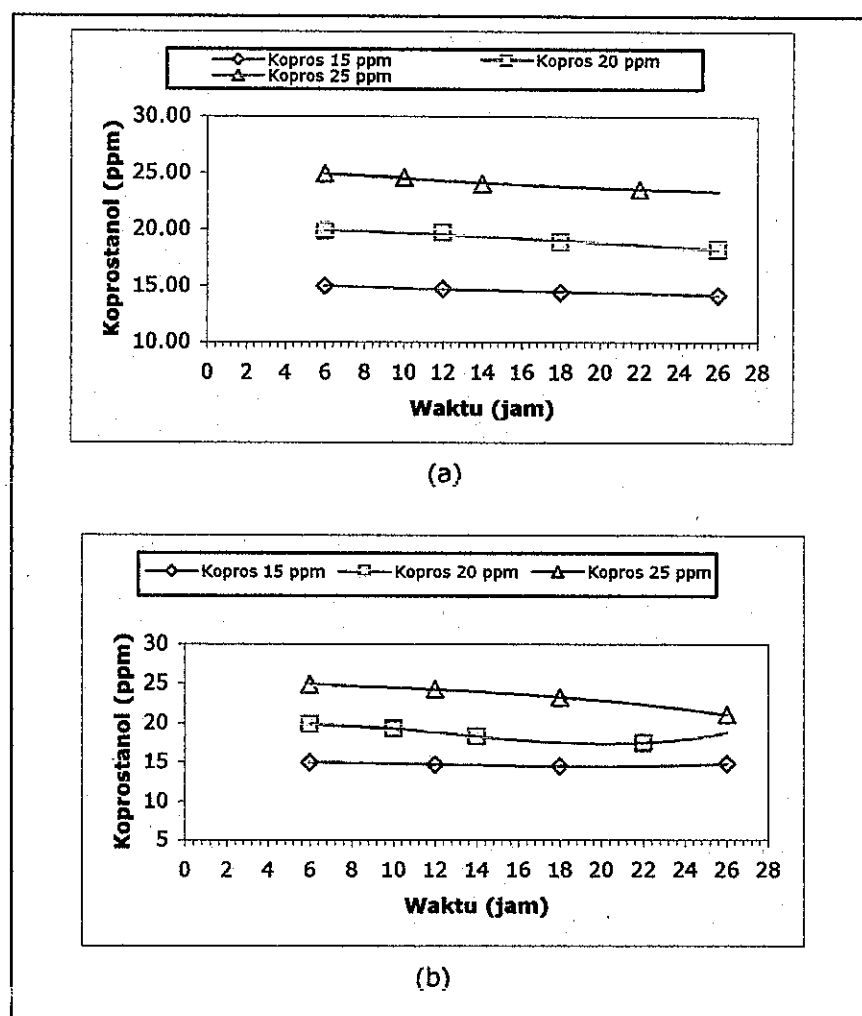
4.1.1. Jakarta Sungai Air (JSA) dan Jakarta Sungai Sedimen (JSS)

Berdasarkan nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui dari fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 9



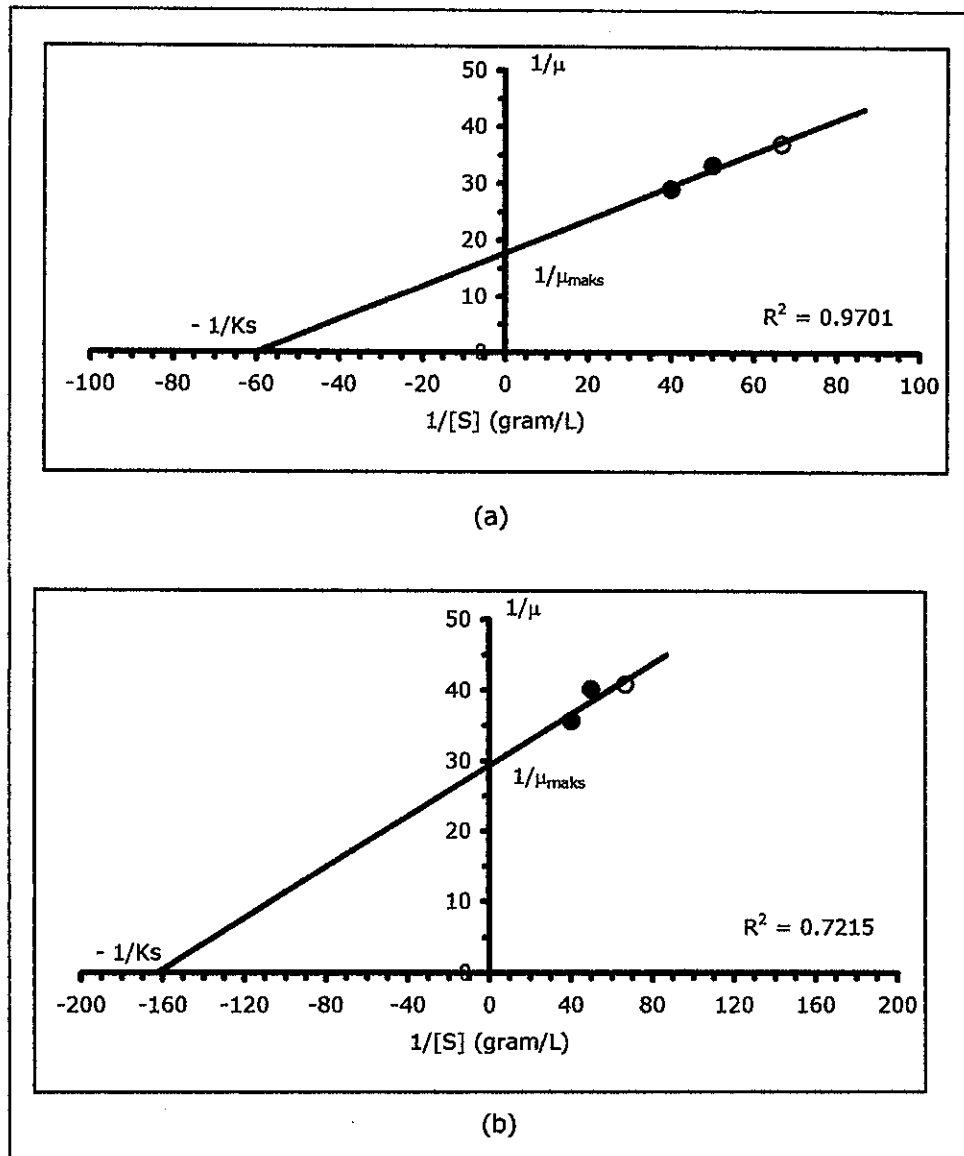
Gambar 9. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15, 20, dan 25 ppm dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar dibawah ini;



Gambar 10. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 7 dan 8) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 11



Gambar 11. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Lineweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a :

$$1/\mu_{maks} = 29.45 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0339 \text{ /jam} = 0.8149/\text{hari}$$

$$1/K_s = 163.5203 \text{ maka } K_s = 0.006115 \text{ gram/l} = 6.12 \text{ mg/l} = 6.12 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Keterangan b:

$$1/\mu_{maks} = 17.703 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0565 \text{ /jam} = 1.356/\text{hari}$$

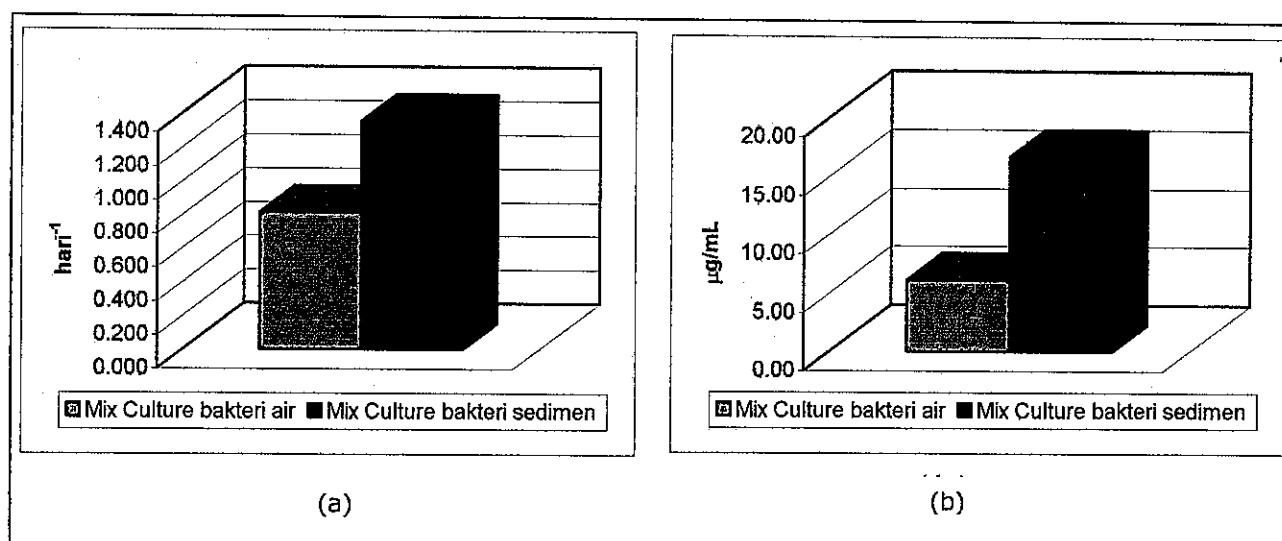
$$1/K_s = 60.1120 \text{ maka } K_s = 0.01663 \text{ gram/l} = 16.63 \text{ mg/l} = 16.63 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Berdasarkan persamaan dari Linierisasi Lineweaver-Burk, diperoleh laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan Konstanta kejenuhan (K_s) dari masing-masing Mix Culture bakteri terdapat dalam Tabel 6 dan Gambar 12

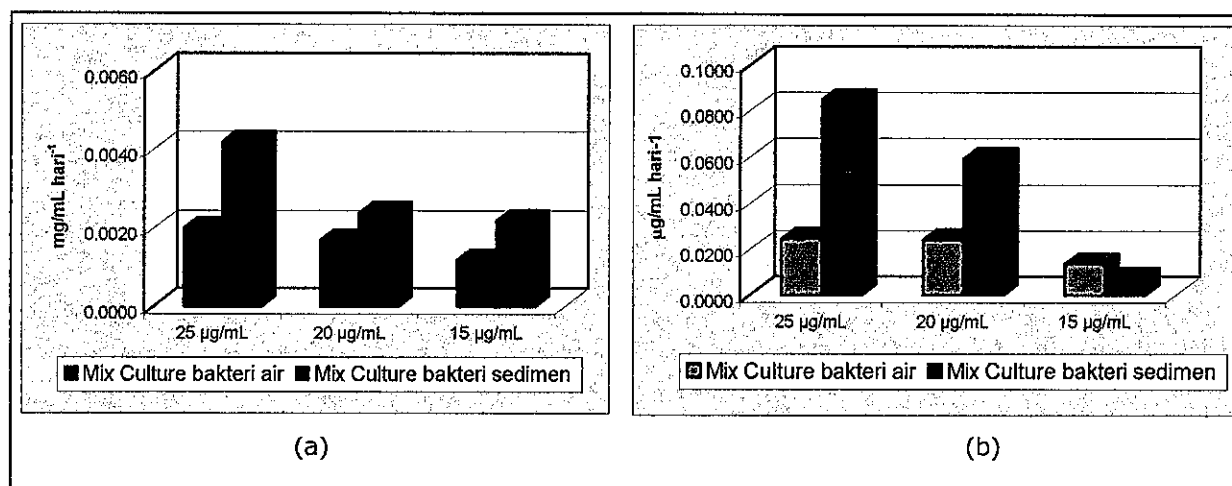
Tabel 6. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0,815	6,12
Mix Culture Bakteri Sedimen	1,356	16,69

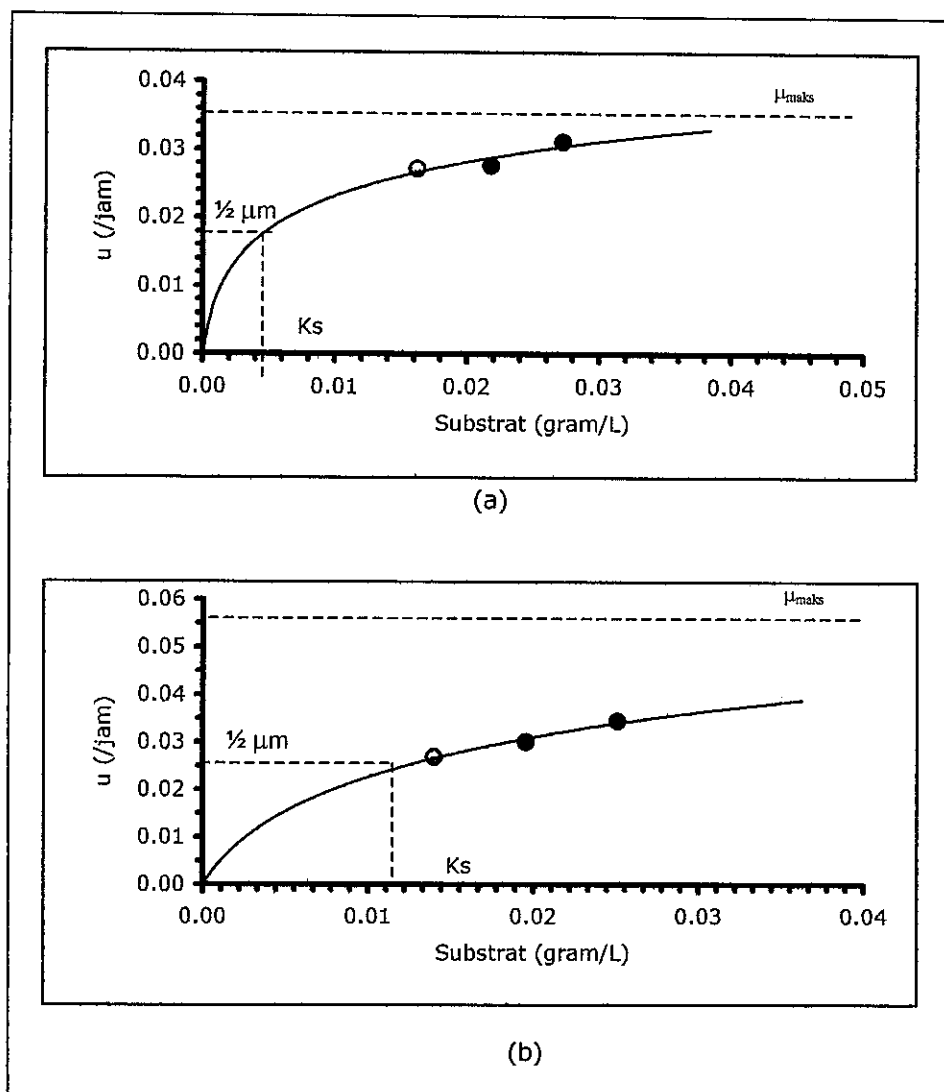
Sumber : Data Primer, 2004

**Gambar 12.** Hasil Uji Kinetika (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Dari hasil uji kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri, yaitu: laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}) pada tiap-tiap konsentrasi koprostanol pada media uji.

**Gambar 13.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix Culture diketahui, maka dengan menggunakan persamaan kurva pertumbuhan model Monod (Gambar 14), maka dapat ditentukan potensi konsentrasi optimal koprostanol untuk masing-masing Mix Culture.

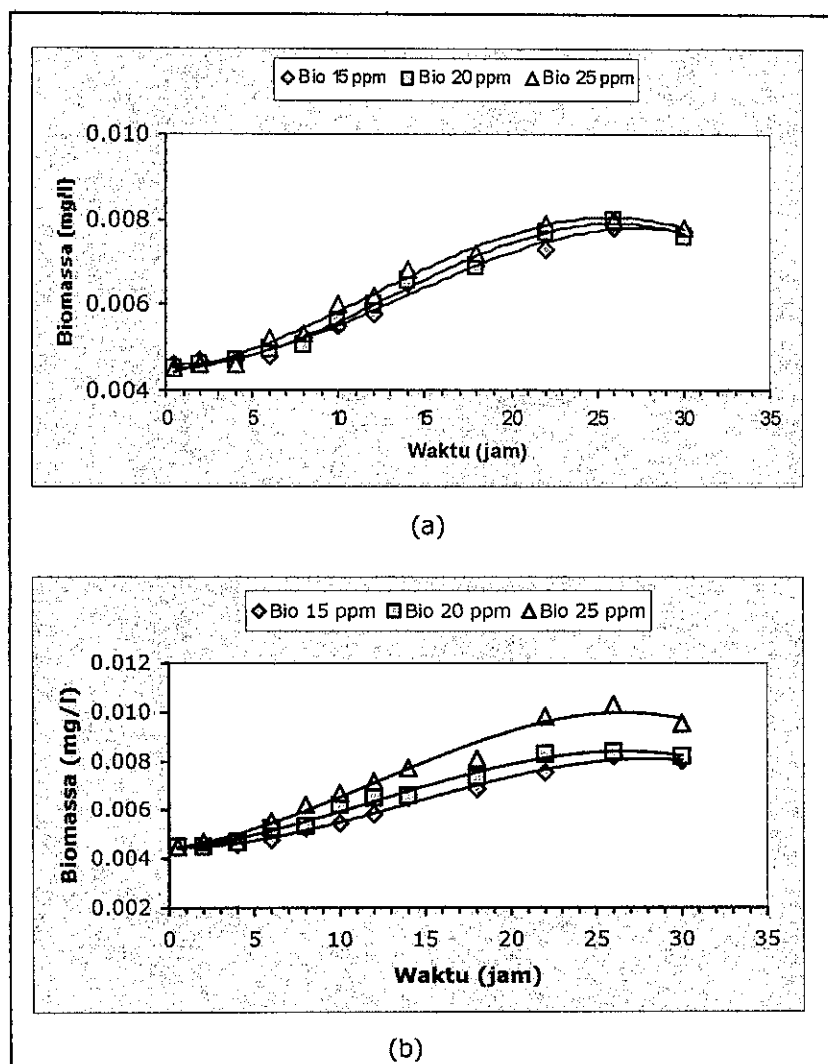


Gambar 14. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod: (a) Mix Culture Bakteri Air dan (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

4.1.2. Jakarta Muara Air (JMA) dan Jakarta Muara Sedimen (JMS)

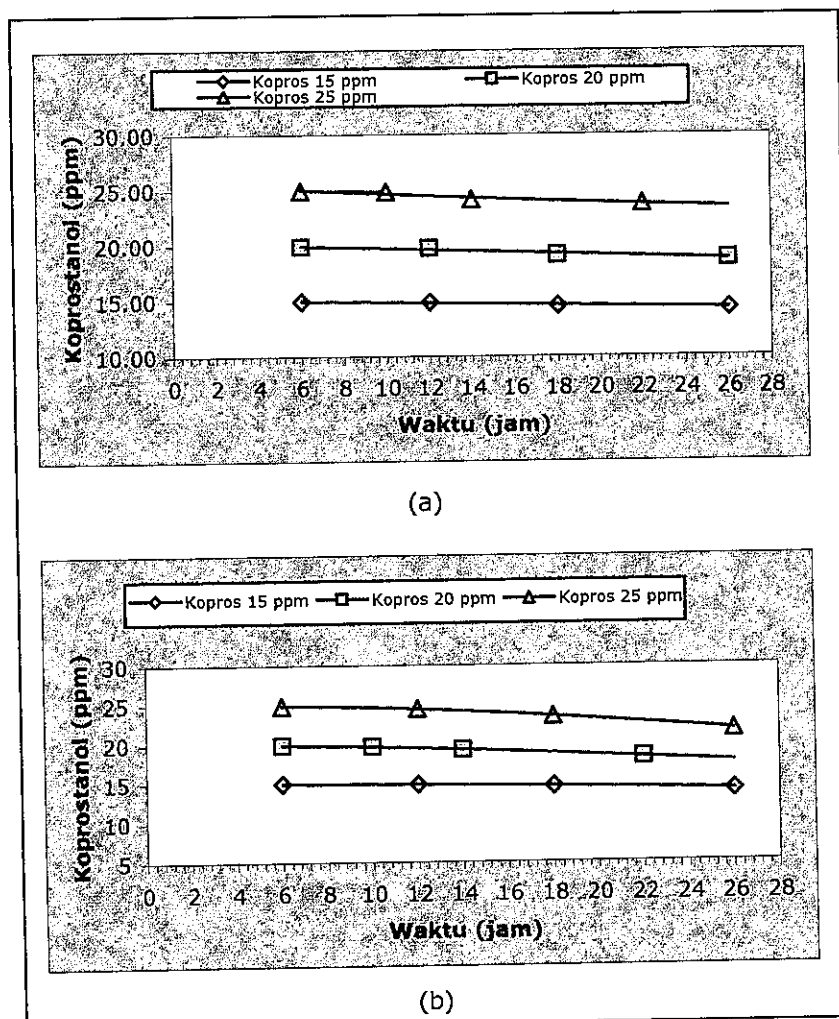
Nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui dari fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase

eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 15



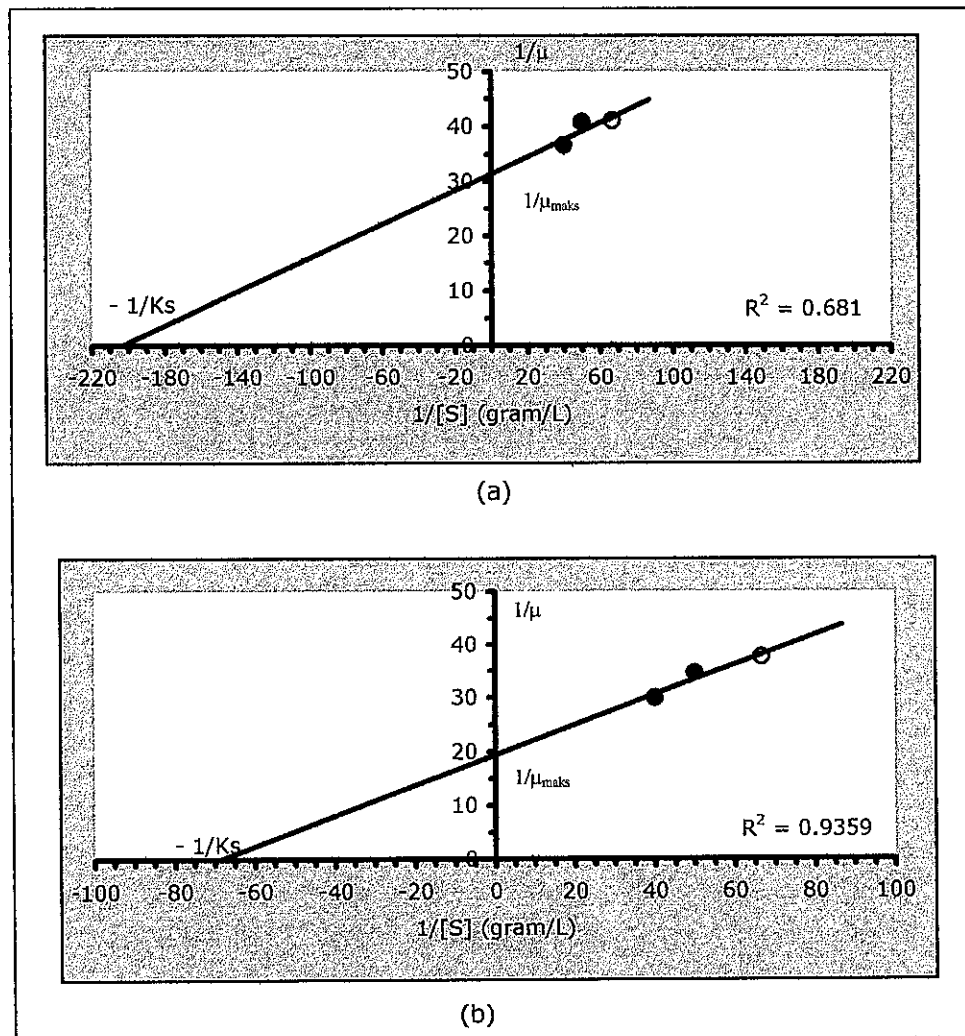
Gambar 15. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15, 20, dan 25 ppm dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 16



Gambar 16. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 9 dan 10) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 17



Gambar 17. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Lineweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a :

$$1/\mu_{maks} = 31.473 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0318 \text{ /jam} = 0.7632/\text{hari}$$

$$1/K_s = 203,9728 \text{ maka } K_s = 0.00490 \text{ gram/l} = 4.90 \text{ mg/l} = 4.90 \mu\text{g/ml}$$

Keterangan b:

$$1/\mu_{maks} = 19.382 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0516 \text{ /jam} = 1.238/\text{hari}$$

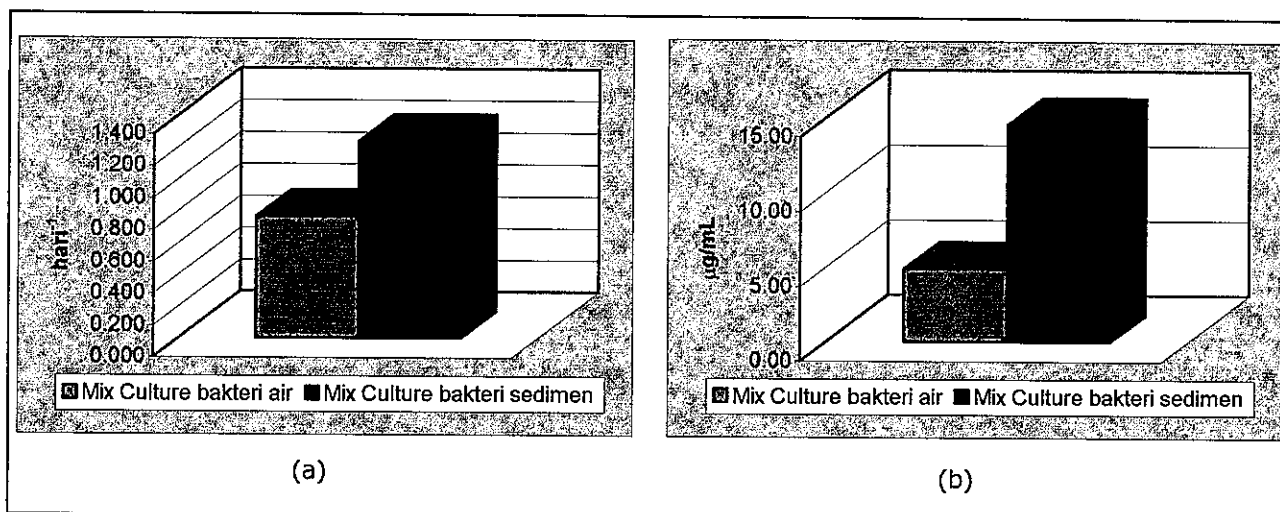
$$1/K_s = 68,8037 \text{ maka } K_s = 0.01453 \text{ gram/l} = 14.53 \text{ mg/l} = 14.53 \mu\text{g/ml}$$

Berdasarkan persamaan dari Linierisasi Lineweaver-Burk, diperoleh laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan Konstanta kejenuhan (K_s) dari masing-masing Mix Culture bakteri terdapat dalam Tabel 7 dan Gambar 18

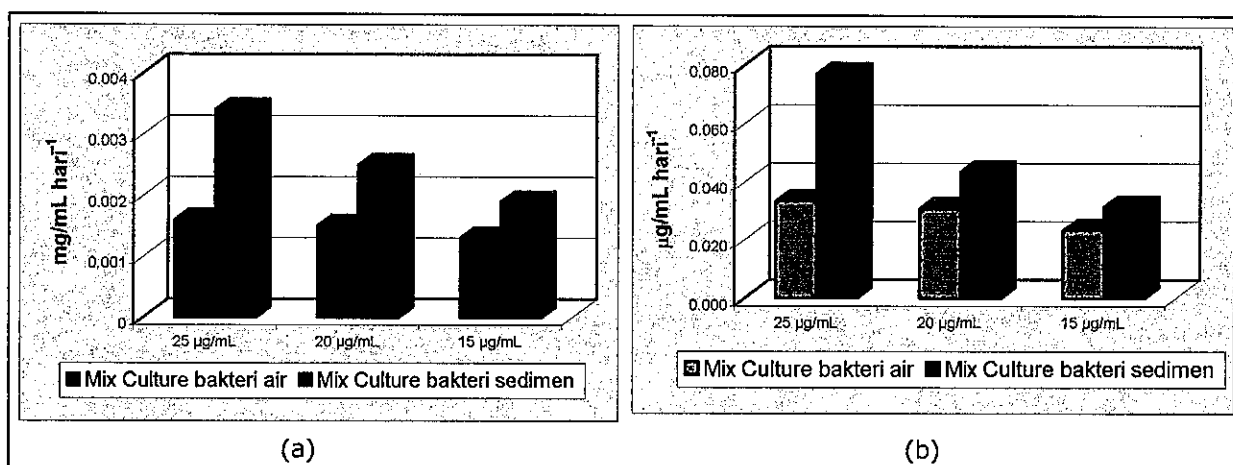
Tabel 7. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0,763	4,90
Mix Culture Bakteri Sedimen	1,238	14,53

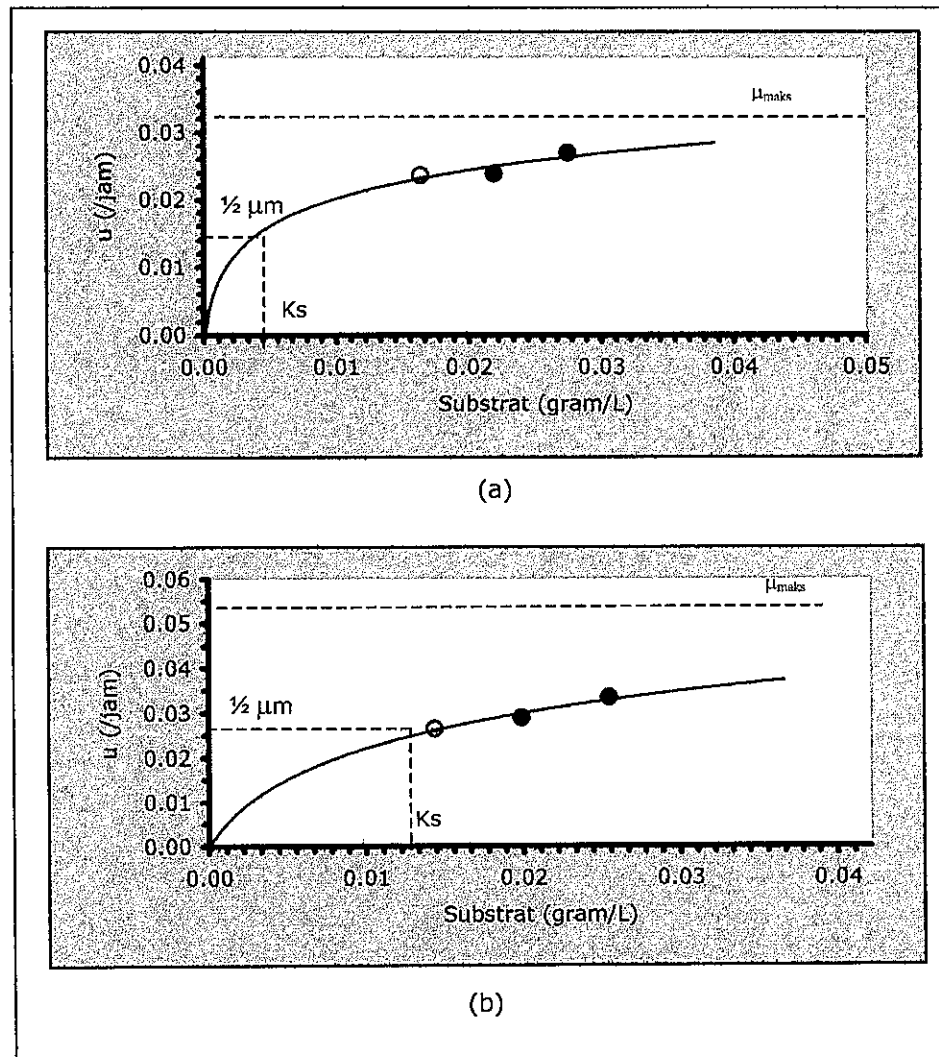
Sumber : Data Primer, 2004

**Gambar 18.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Setelah didapatkan hasil uji kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri, yaitu: laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}) pada tiap-tiap konsentrasi koprostanol pada media uji.

**Gambar 19.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

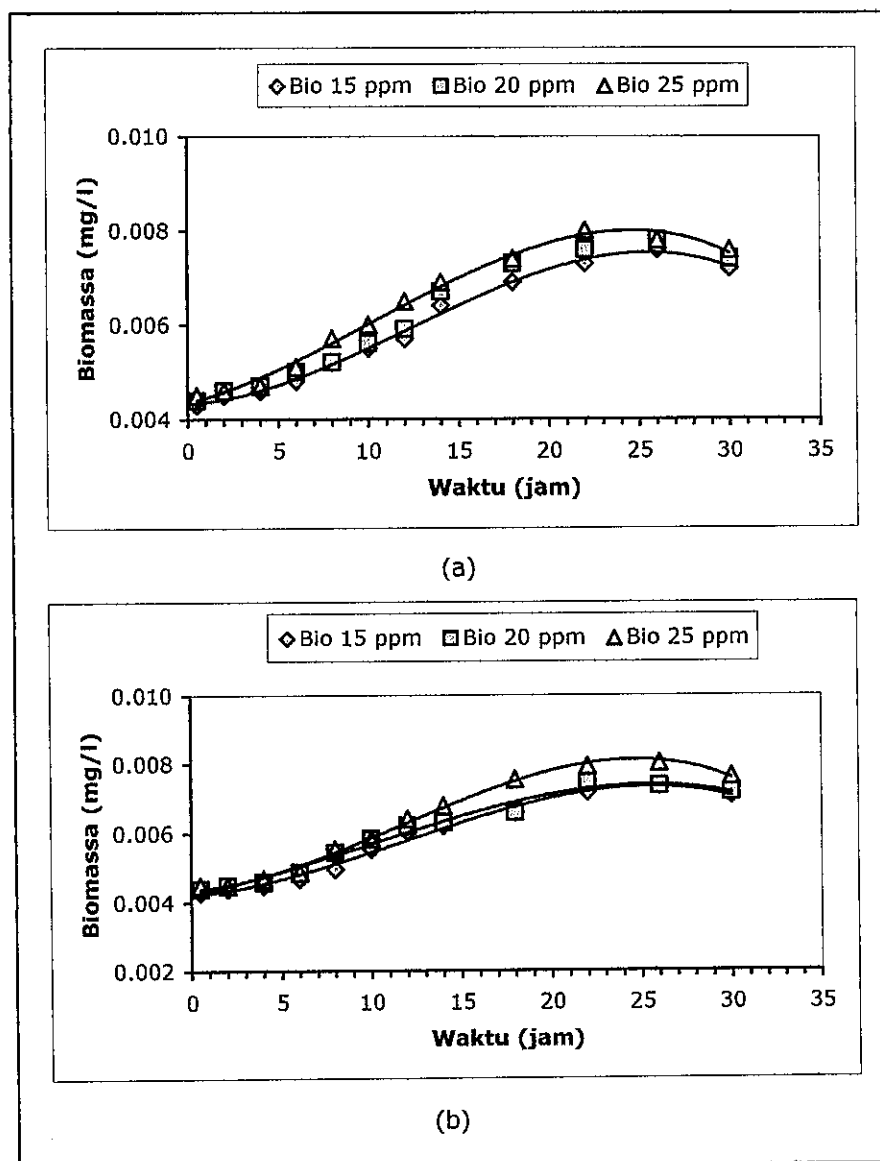
Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix culture diketahui, maka didapat persamaan kurva pertumbuhan Model Monod Gambar 20



Gambar 20. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod (a) Mix Culture Bakteri Air dan (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

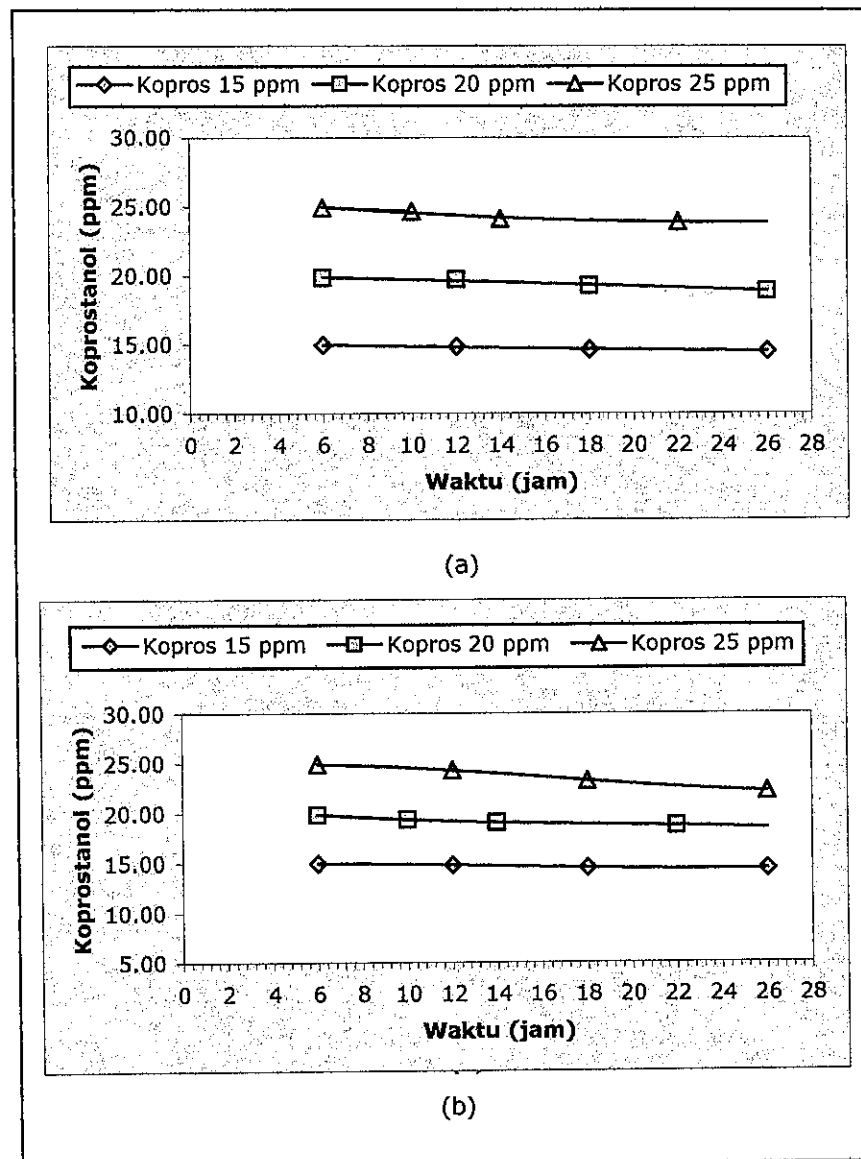
4.1.3. Jakarta Laut Air (JLA) dan Jakarta Laut Sedimen (JLS)

Nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui dari fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 21



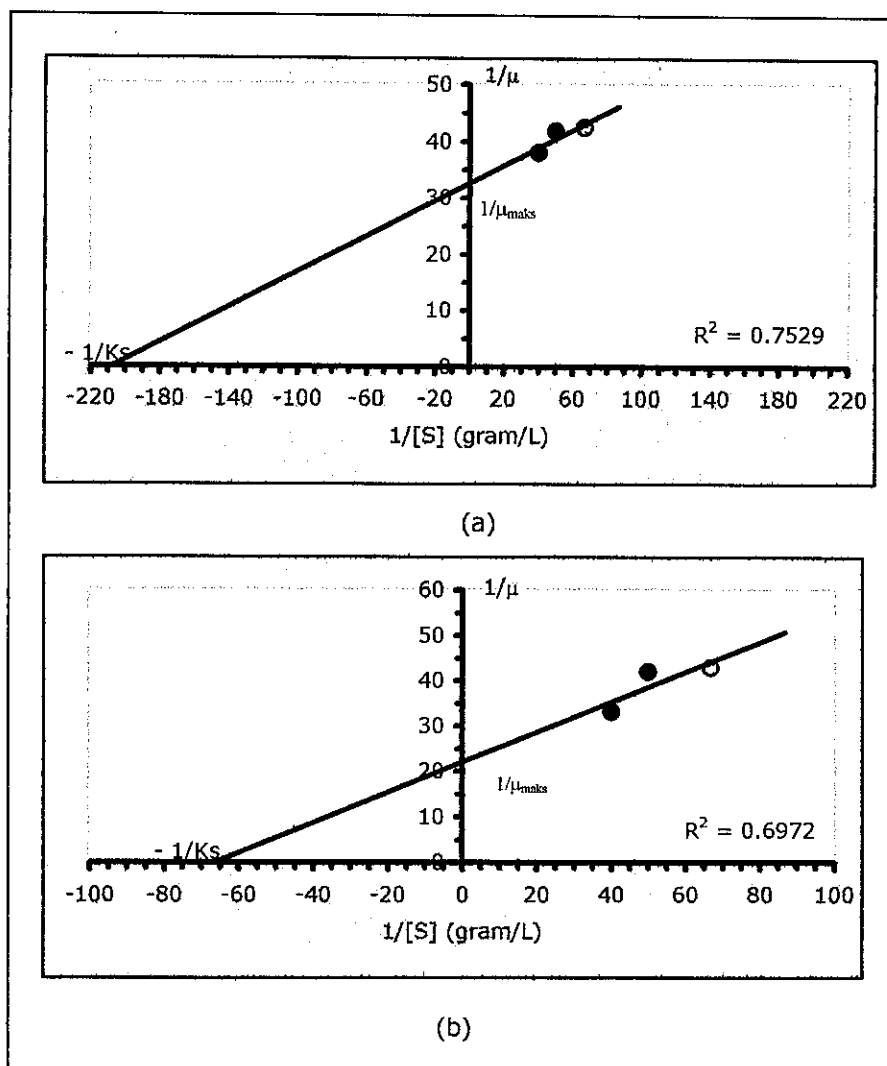
Gambar 21. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 22



Gambar 22. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 11 dan 12) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 23



Gambar 23. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Lineweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a :

$$1/\mu_{maks} = 32.611 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0307 \text{ /jam} = 0.7368/\text{hari}$$

$$1/K_s = 207.8458 \text{ maka } K_s = 0.004811 \text{ gram/l} = 4.81 \text{ mg/l} = 4.81 \mu\text{g/ml}$$

Keterangan b :

$$1/\mu_{maks} = 22.047 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0454 \text{ /jam} = 1.090/\text{hari}$$

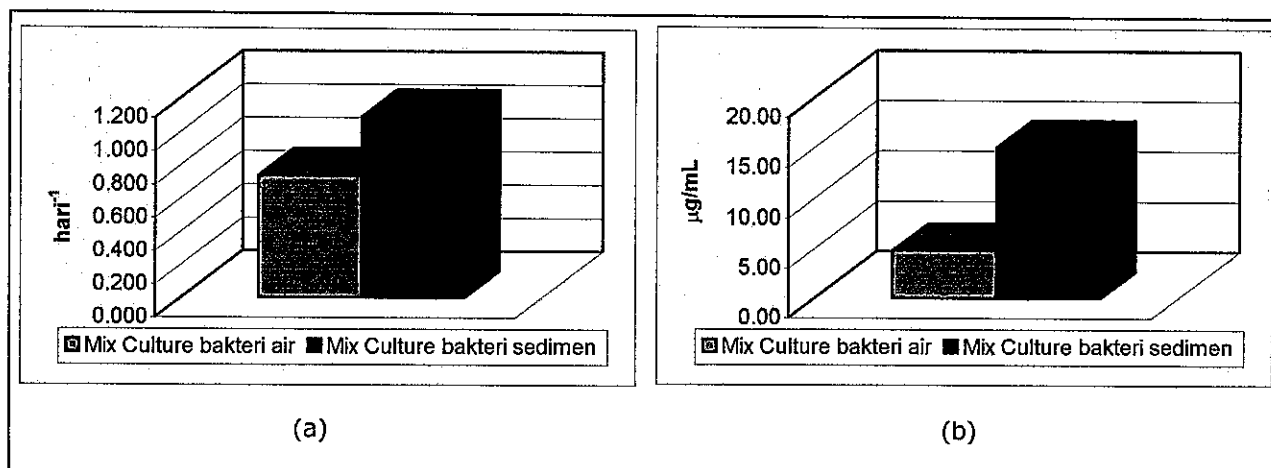
$$1/K_s = 66.4066 \text{ maka } K_s = 0.01506 \text{ gram/l} = 15.06 \text{ mg/l} = 15.06 \mu\text{g/ml}$$

Berdasarkan persamaan dari Linierisasi Lineweaver-Burk, diperoleh laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan Konstanta kejenuhan (K_s) dari masing-masing Mix Culture bakteri terdapat dalam Tabel 8 dan Gambar 24

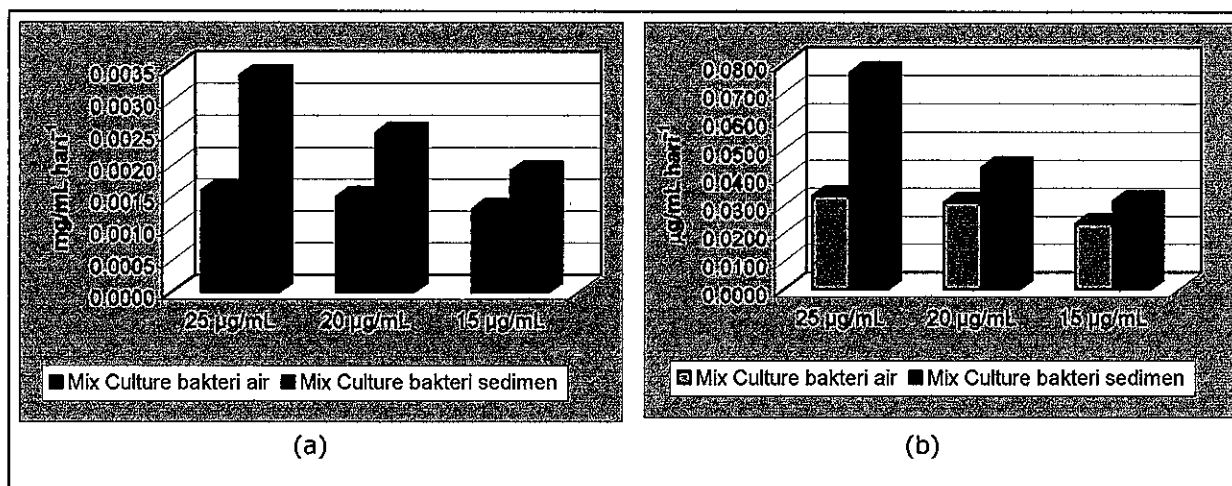
Tabel 8. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0.737	4,81
Mix Culture Bakteri Sedimen	1,090	15,06

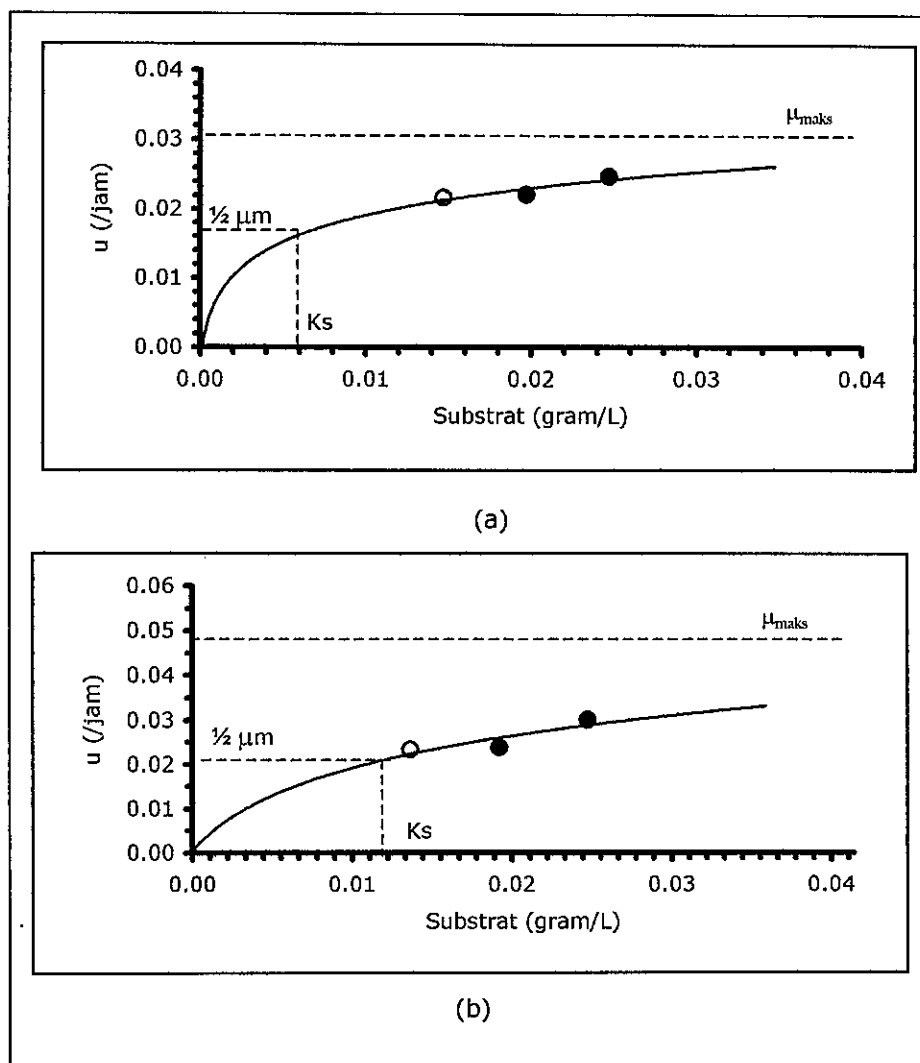
Sumber : Data Primer, 2004

**Gambar 24.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Setelah didapatkan hasil uji kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri, yaitu: laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}) pada tiap-tiap konsentrasi koprostanol pada media uji.

**Gambar 25.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

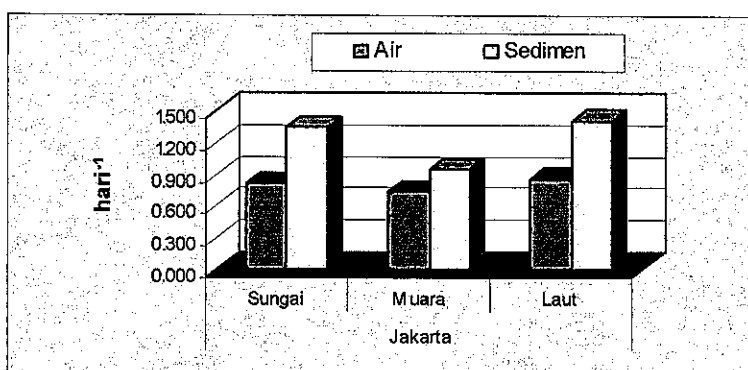
Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix Culture diketahui, maka didapat persamaan kurva pertumbuhan Model Monod pada Gambar 26



Gambar 26. Kurva Pertumbuhan Mikroba Model Monod (a) Air, (b) Sedimen

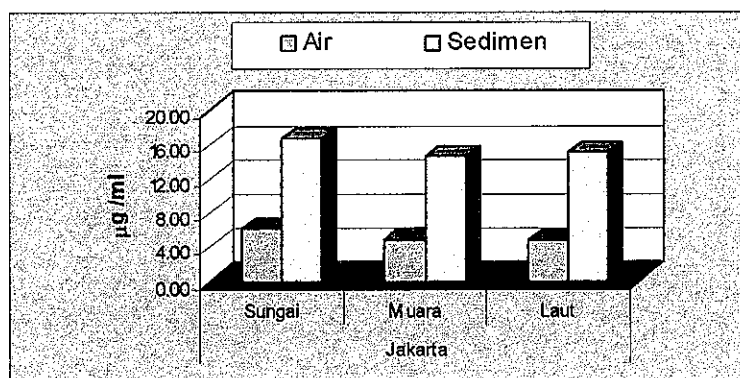
Data uji yang diperoleh untuk mengetahui seberapa jauh persistensi koprostanol di lokasi penelitian Jakarta dengan menggunakan bakteri terseleksi yang dilakukan pada Mix culture bakteri air dan Mix culture bakteri sedimen pada konsentrasi koprostanol 15 mg/l, 20 mg/l, dan 25 mg/l. Perubahan nilai konsentrasi koprostanol pada fase eksponensial digunakan untuk menentukan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) yang diperoleh dari grafik linier \ln biomassa terhadap waktu pada fase log. Pada lokasi

Jakarta μ_{maks} tertinggi terdapat di sungai pada mix culture bakteri sedimen dengan nilai tertinggi $1,356 \text{ hari}^{-1}$ dan terendah di laut pada mix culture air sebesar $0,737 \text{ hari}^{-1}$. Hal ini terjadi karena berbagai macam konsentrasi dalam berbagai mix culture bakteri air dan sedimen yang dipengaruhi kondisi lingkungan fisik dan kimia. Hasil Laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) untuk tiga kondisi lingkungan dapat dilihat dalam Gambar 27



Gambar 27. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks})

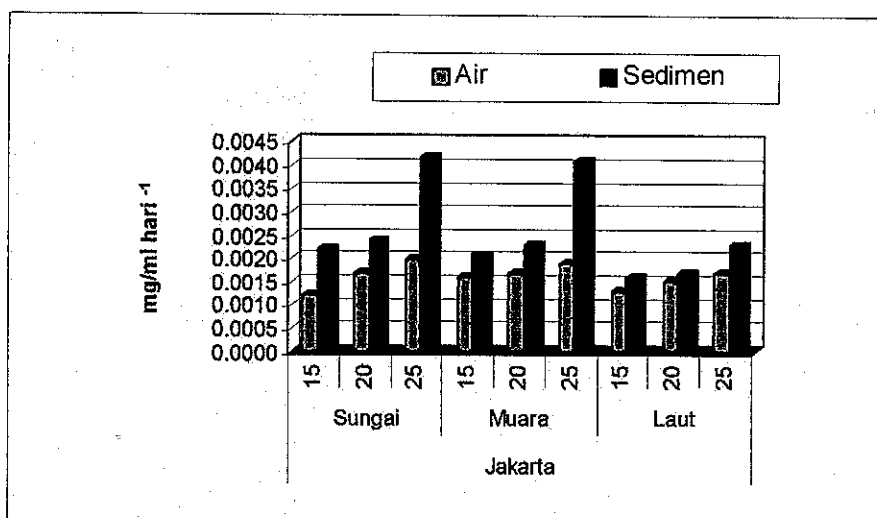
Berdasarkan hasil dari linierisasi Lineweaver- Burk diperoleh persamaan Michaelis-Menten yaitu untuk kondisi sungai air $y=0,1801 x + 29,45$, sungai sedimen $y=0,2945 x + 17,703$, muara air $y=0,1543 x + 31,473$, muara sedimen $y=0,2817 x + 19,382$, laut air $y=0,1569 x + 32,611$ dan laut sedimen $y=0,332 x + 22,047$. Dari persamaan tersebut diperoleh nilai tetapan kejenuhan (K_s) tertinggi pada sungai sedimen yaitu $16,69 \mu\text{g/ml}$ sedangkan nilai terendah pada laut air $4,81 \mu\text{g/ml}$. Nilai K_s untuk keseluruhan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Gambar 28



Gambar 28. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

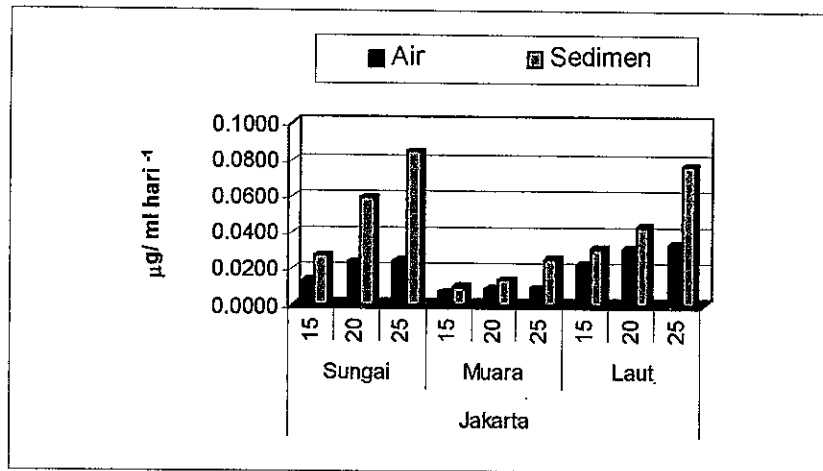
Setelah koprostanol mencapai nilai K_s (tetapan kejenuhan), maka kemampuan bakteri dalam mendegradasi koprostanol di bawah konsentrasi tersebut menjadi lambat, sehingga berpeluang terakumulasi di sedimen, dan berpotensi sebagai indikator pencemaran limbah domestik. Data μ_{maks} dan K_s juga menunjukkan bahwa koprostanol saat masuk ke lingkungan perairan telah mengalami proses biodegradasi, dan proses tersebut terus berlangsung walau lebih lambat saat koprostanol telah mengendap bersama sedimen.

Laju pertumbuhan bakteri tertinggi (r_g) terdapat pada sungai sedimen yaitu 0,0042 mg/ml hari⁻¹ dan terendah pada sungai air yaitu 0,0012 mg/ml hari⁻¹. Besarnya konsentrasi pertumbuhan bakteri (r_g) dapat dilihat dari Gambar 29



Gambar 29. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g)

Besarnya Laju penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi pada konsentrasi 25 mg/l pada kondisi lingkungan sungai sedimen yaitu 0,0847 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$ dan terendah pada muara air yaitu 0,0077 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$. Besarnya penggunaan substrat (r_{su}) terdapat pada Gambar 30



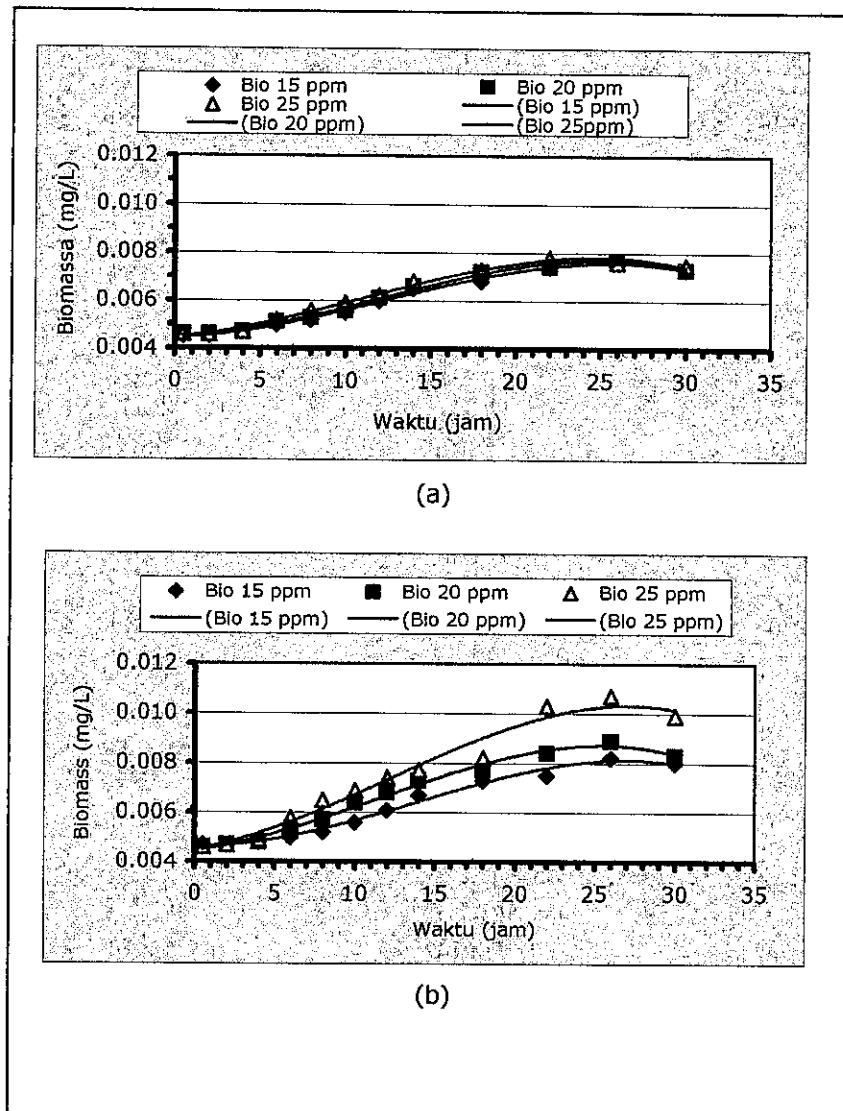
Gambar 30. Hasil Laju Penggunaan substrat (r_{su})

Laju biodegradasi koprostanol oleh bakteri air dan sedimen pada tipologi kota Jakarta dapat dilihat dari Gambar 30, dimana nilai Laju Penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi di sungai. Menurut Suhartonò (2003) pada sungai memiliki nilai IP 12,91 dan tergolong tercemar berat. Tingginya indeks pencemaran di lingkungan sungai pada musim kemarau disebabkan karena sungai di Jakarta merupakan sumber masuknya limbah domestik dari berbagai aktifitas manusia di daratan, seperti permukiman, perkantoran, perhotelan, dan perniagaan. Selain itu pada kondisi musim kemarau aliran sungai sangat kecil sehingga konsentrasi limbah domestik cenderung meningkat. Pada musim kemarau, terjadi peningkatan nilai BOD, kekeruhan, deterjen, dan fecal coliform, serta rendahnya nilai DO dan kecerahan. Disamping kondisi seperti diatas keadaan ini juga dipengaruhi oleh karakteristik jenis bakteri pendegradasinya dan faktor-faktor lingkungan.

4.2. Lokasi Penelitian Semarang

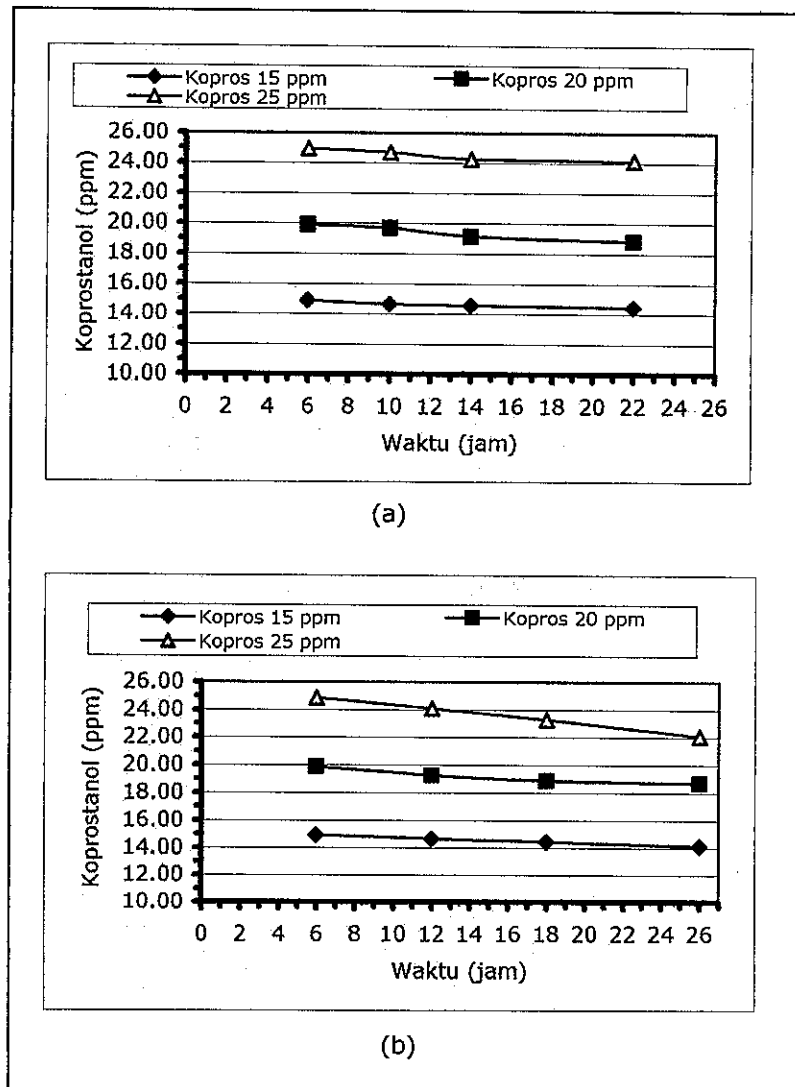
4.2.1. Semarang Sungai Air (SSA) dan Semarang Sungai Sedimen (SSS)

Berdasarkan hasil pengukuran nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 31



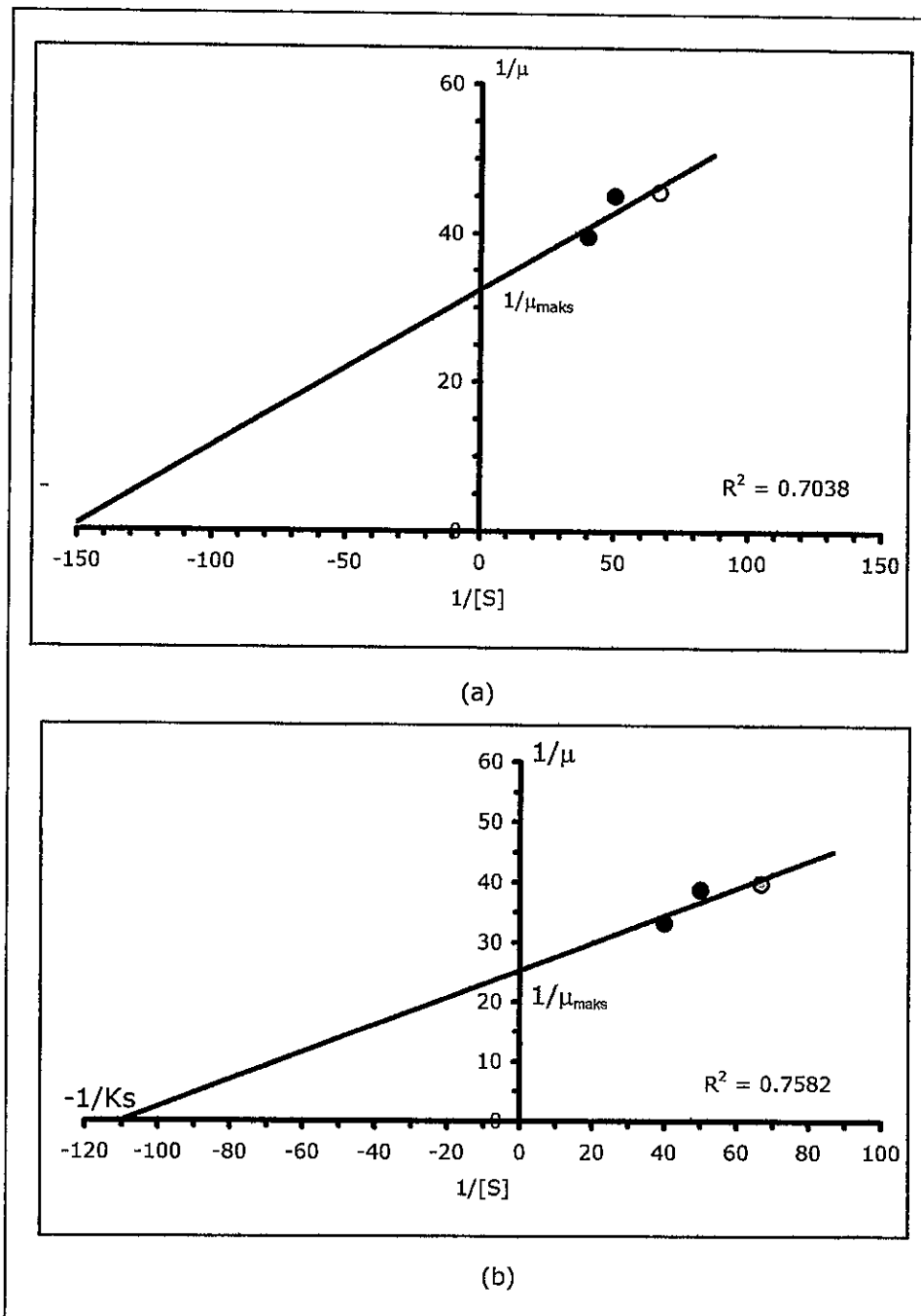
Gambar 31. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 32



Gambar 32. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 13 da 14) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 33



Gambar 33. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Liniweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a:

$1/\mu_{\text{maks}} = 32,423$ maka $\mu_{\text{maks}} = 0.0308$ /jam = 0.739 /hari

$1/K_s = 154.1017$ maka $K_s = 0.00649$ gram/l = 6,49 mg/l = 6.49 $\mu\text{g/ml}$

Keterangan b:

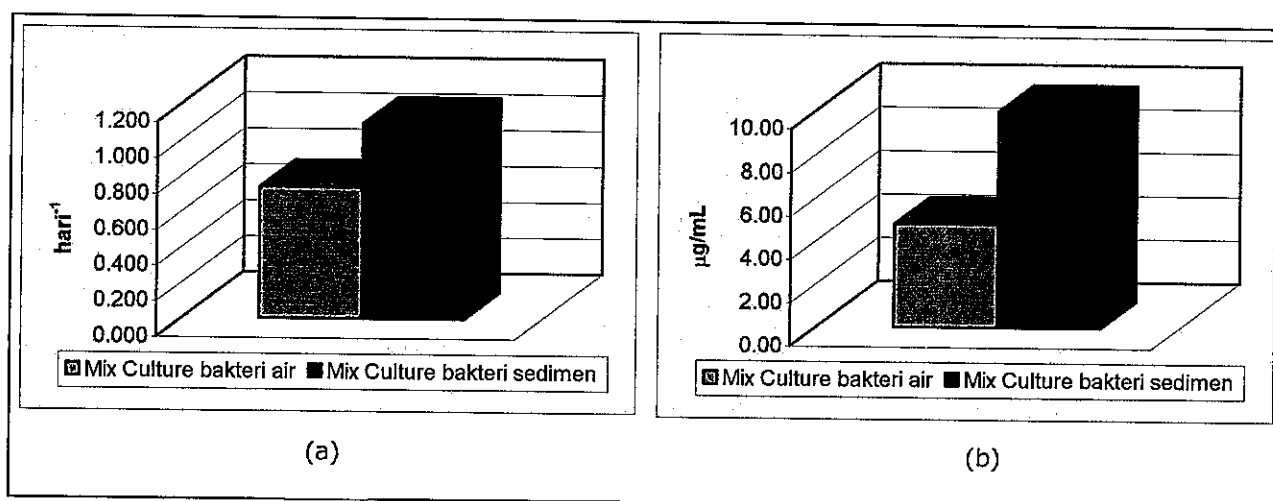
$1/\mu_{\text{maks}} = 25.291$ maka $\mu_{\text{maks}} = 0.0395$ /jam = 0,9480/hari

$1/K_s = 110,200$ maka $K_s = 0.00907$ gram/l = 9,07.9 mg/l = 9,07 $\mu\text{g/ml}$

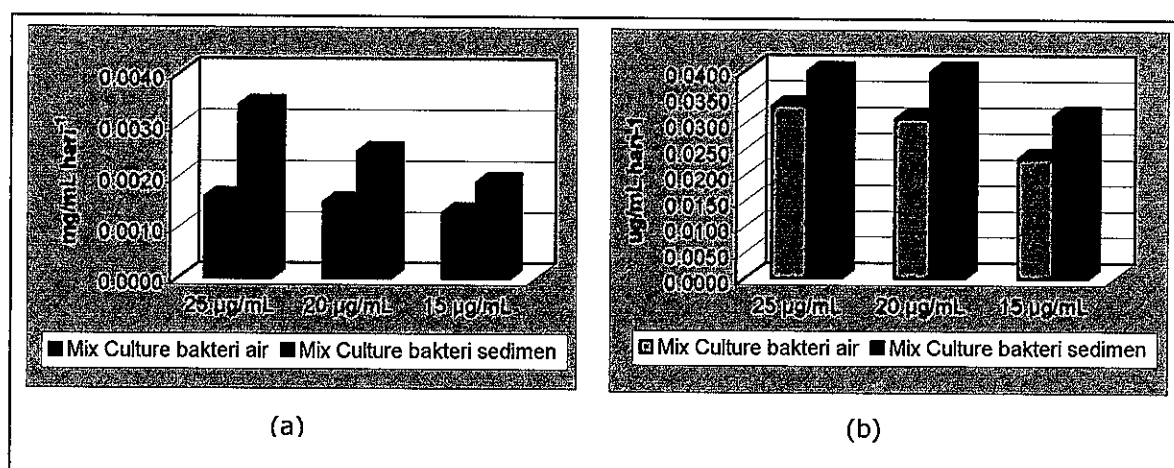
Tabel 9. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0,739	6,49
Mix Culture Bakteri Sedimen	0,948	9,07

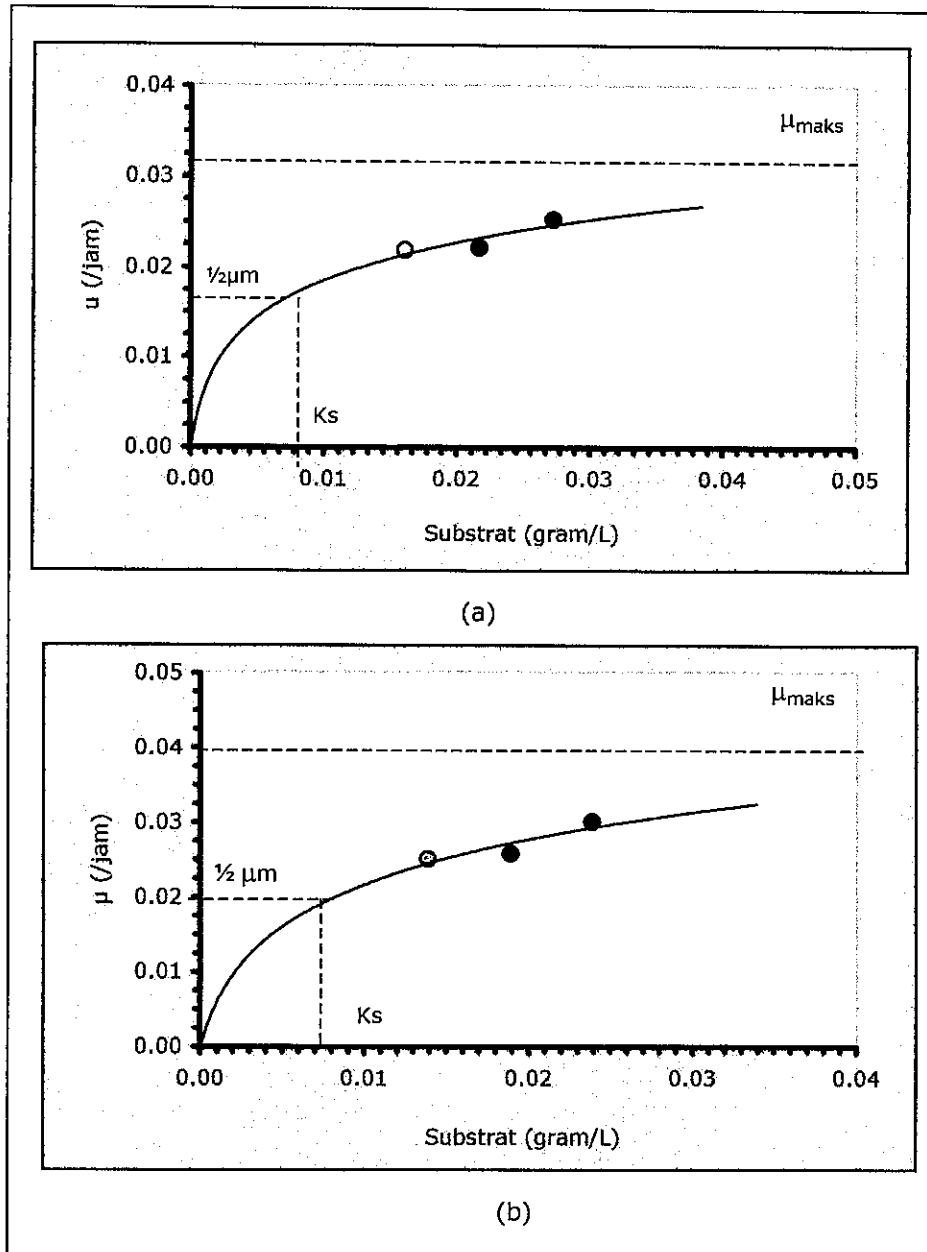
Sumber : Data Primer, 2004

**Gambar 34.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Berdasarkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}).

**Gambar 35.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

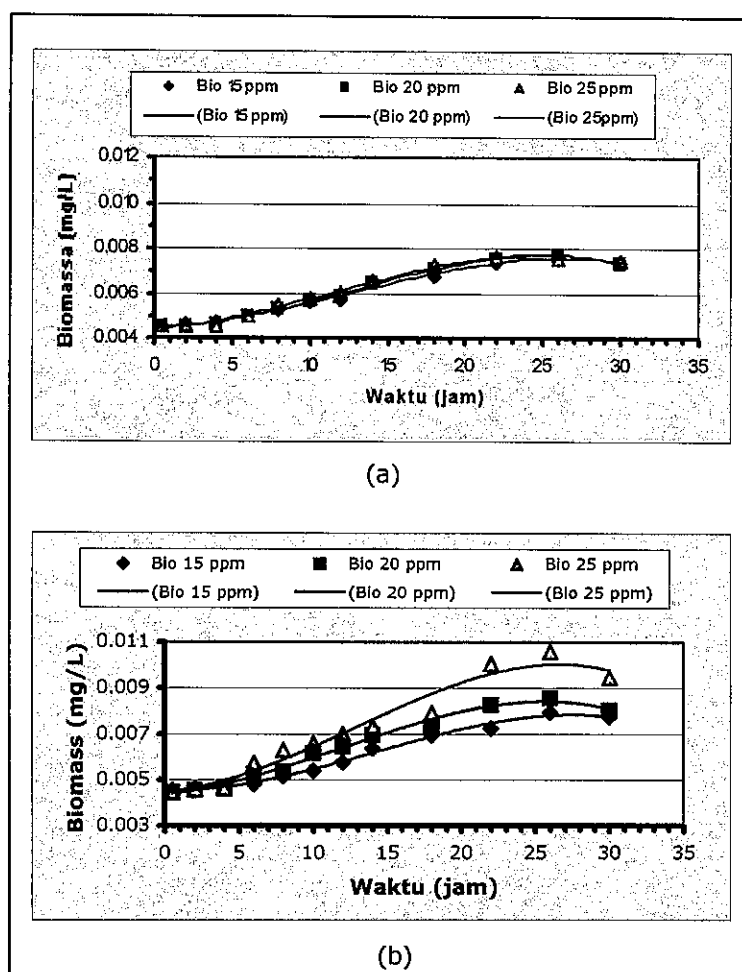
Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix Culture diketahui, maka dengan menggunakan persamaan kurva pertumbuhan model Monod (Gambar 36), maka dapat ditentukan potensi konsentrasi optimal koprostanol untuk masing-masing Mix Culture.



Gambar 36. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod (a) Mix Culture Bakteri Air dan (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

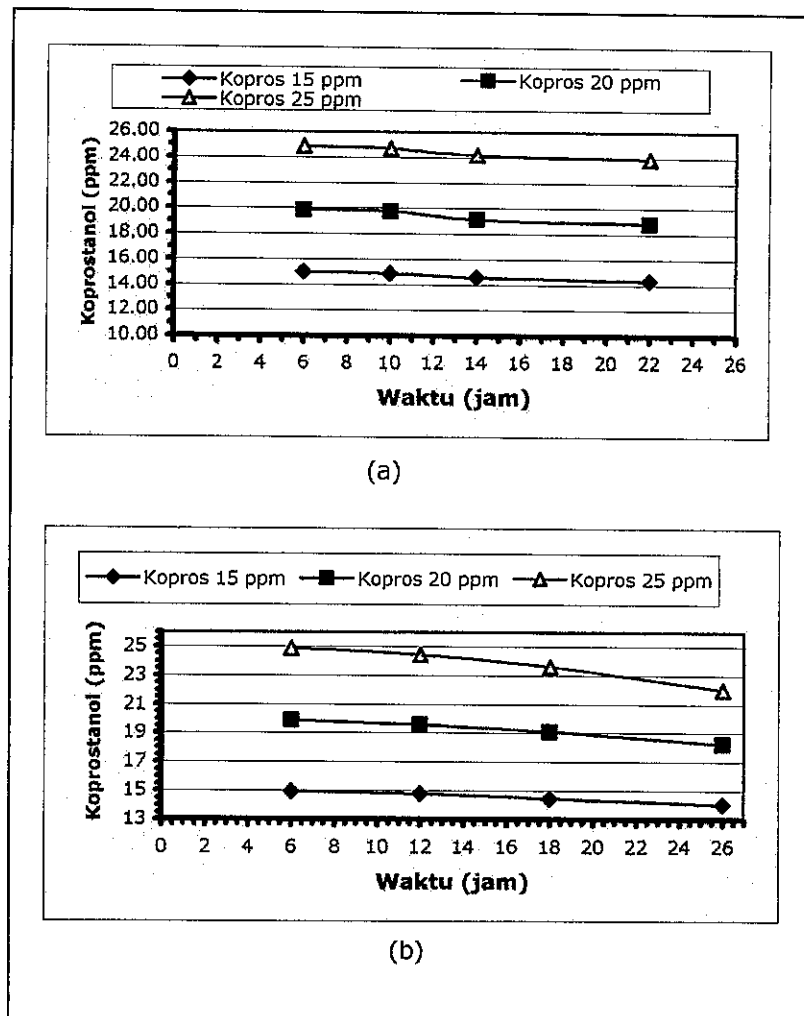
4.2.2. Semarang Muara Air (SMA) dan Semarang Muara Sedimen (SMS)

Berdasarkan hasil pengukuran nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 37



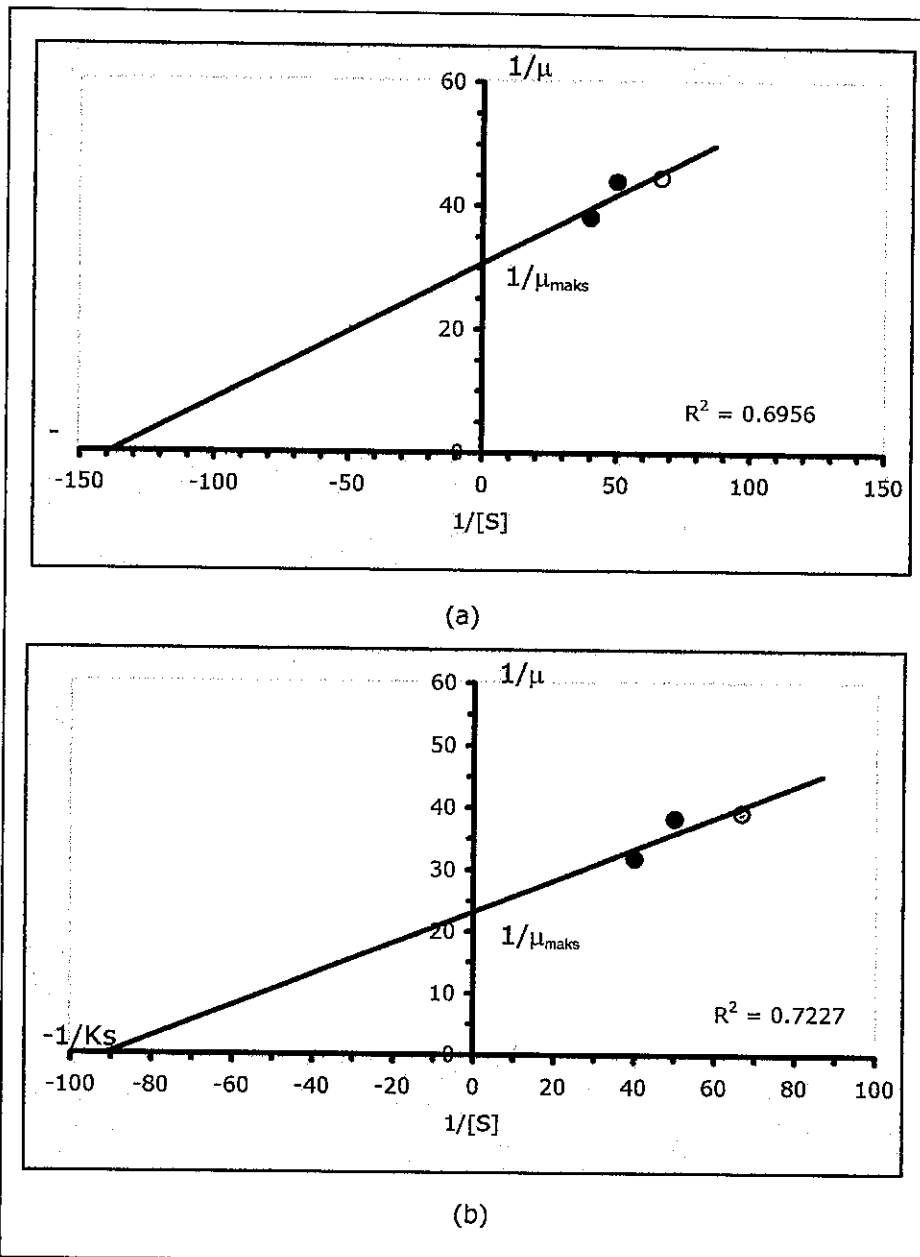
Gambar 37. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 38



Gambar 38. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Dari data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 15 dan 16) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 39



Gambar 39. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Lineweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a:

$$1/\mu_{maks} = 30.713 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0326 \text{ /jam} = 0.783 \text{ /hari}$$

$$1/K_s = 138.597 \text{ maka } K_s = 0.00722 \text{ gram/l} = 7.22 \text{ mg/l} = 7.22 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Keterangan b:

$$1/\mu_{maks} = 23.213 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0431 \text{ /jam} = 1.034 \text{ /hari}$$

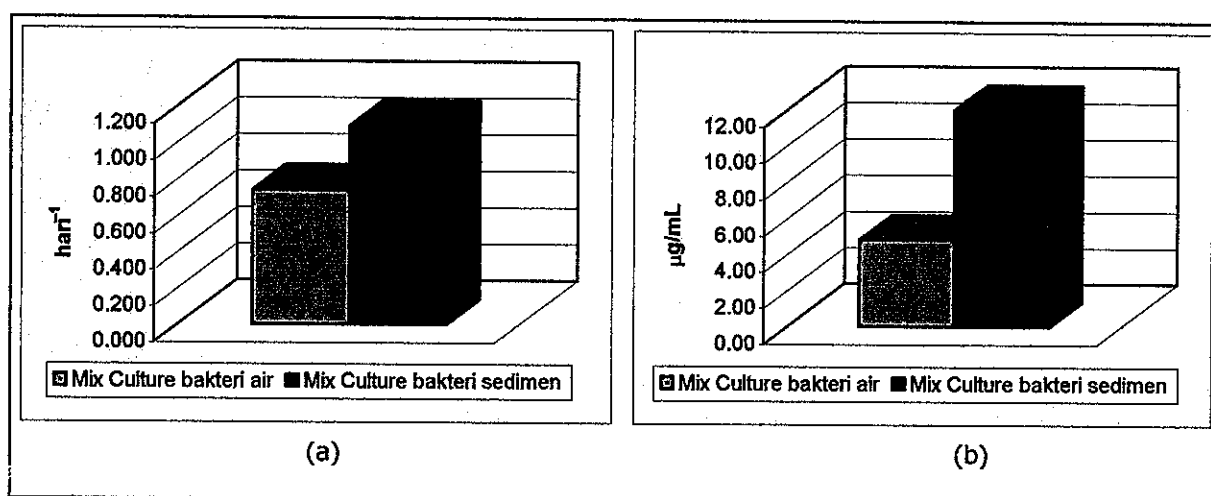
$$1/K_s = 91.5339 \text{ maka } K_s = 0.0109 \text{ gram/l} = 10.9 \text{ mg/l} = 10.9 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Berdasarkan persamaan dari Linierisasi Lineweaver-Burk, diperoleh laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan Konstanta kejenuhan (K_s).

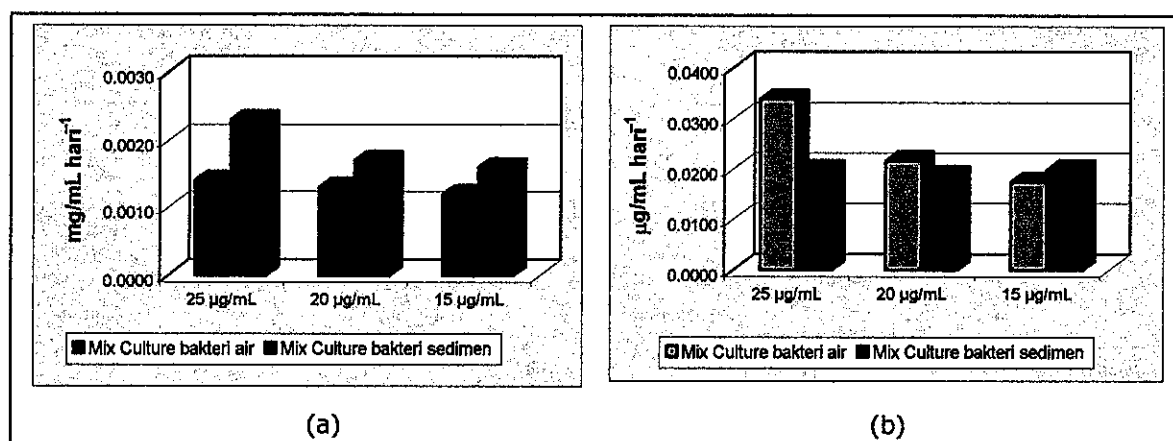
Tabel 10. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0,783	7,22
Mix Culture Bakteri Sedimen	1,034	10,90

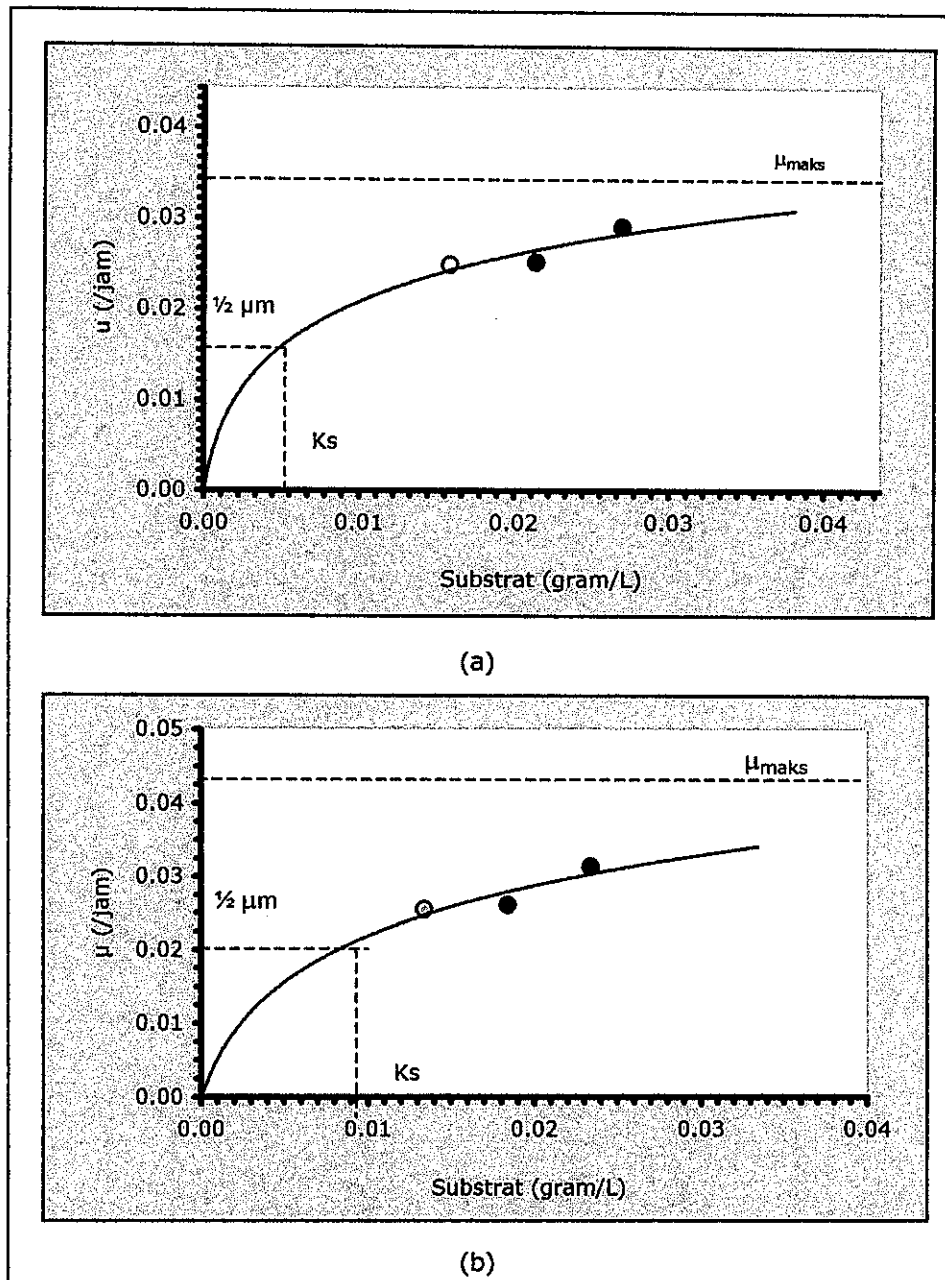
Sumber : Data Primer, 2004

**Gambar 40.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Setelah didapatkan hasil uji kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri, yaitu: laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}) pada tiap-tiap konsentrasi koprostanol pada media uji.

**Gambar 41.** Hasil (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

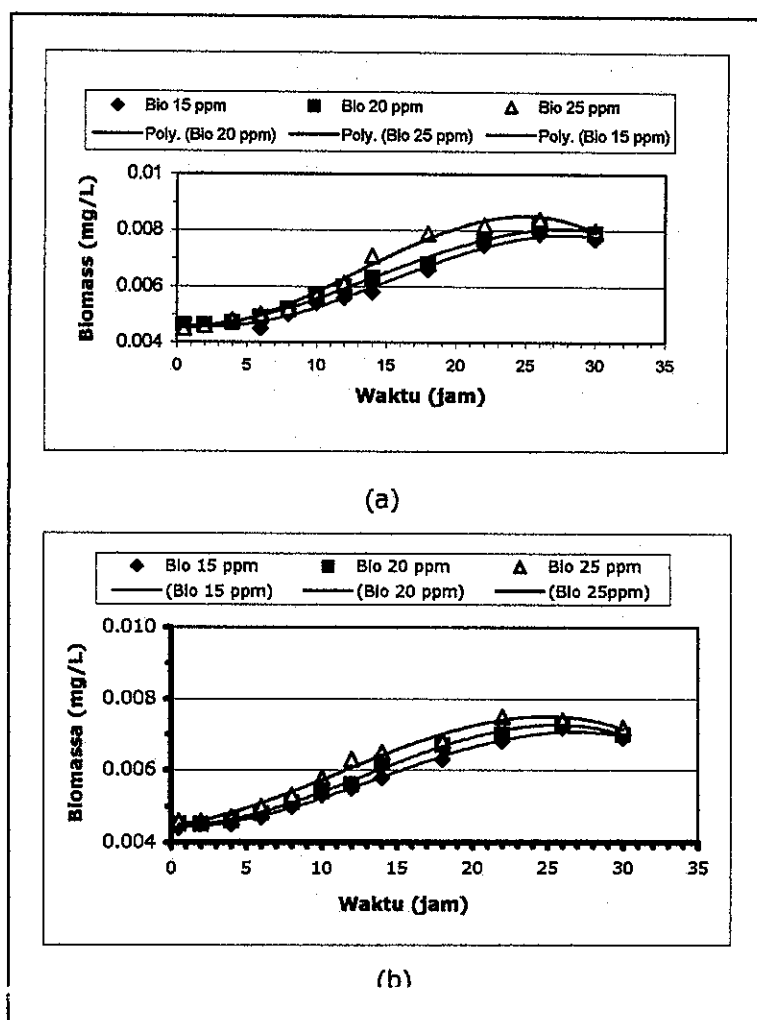
Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix Culture diketahui, maka didapat persamaan kurva pertumbuhan Model Monod pada Gambar 42



Gambar 42. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod (a) Mix Culture Bakteri Air dan (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

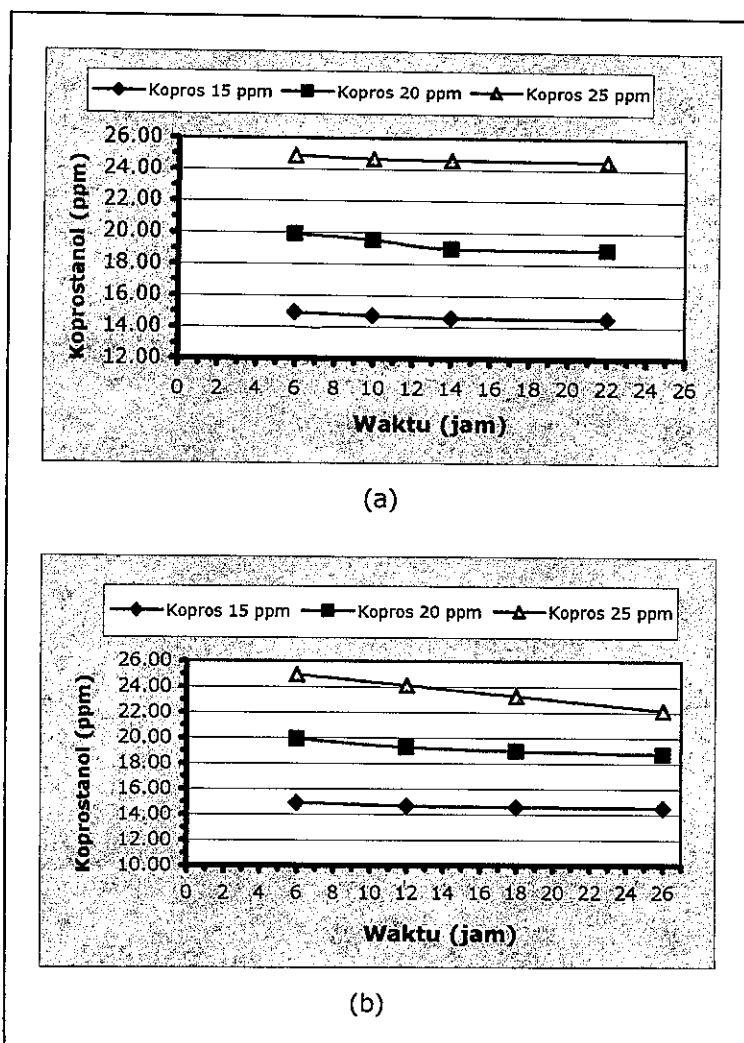
4.2.3. Semarang Laut Air (SLA) dan Semarang Laut Sedimen (SLS)

Berdasarkan hasil pengukuran nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 43



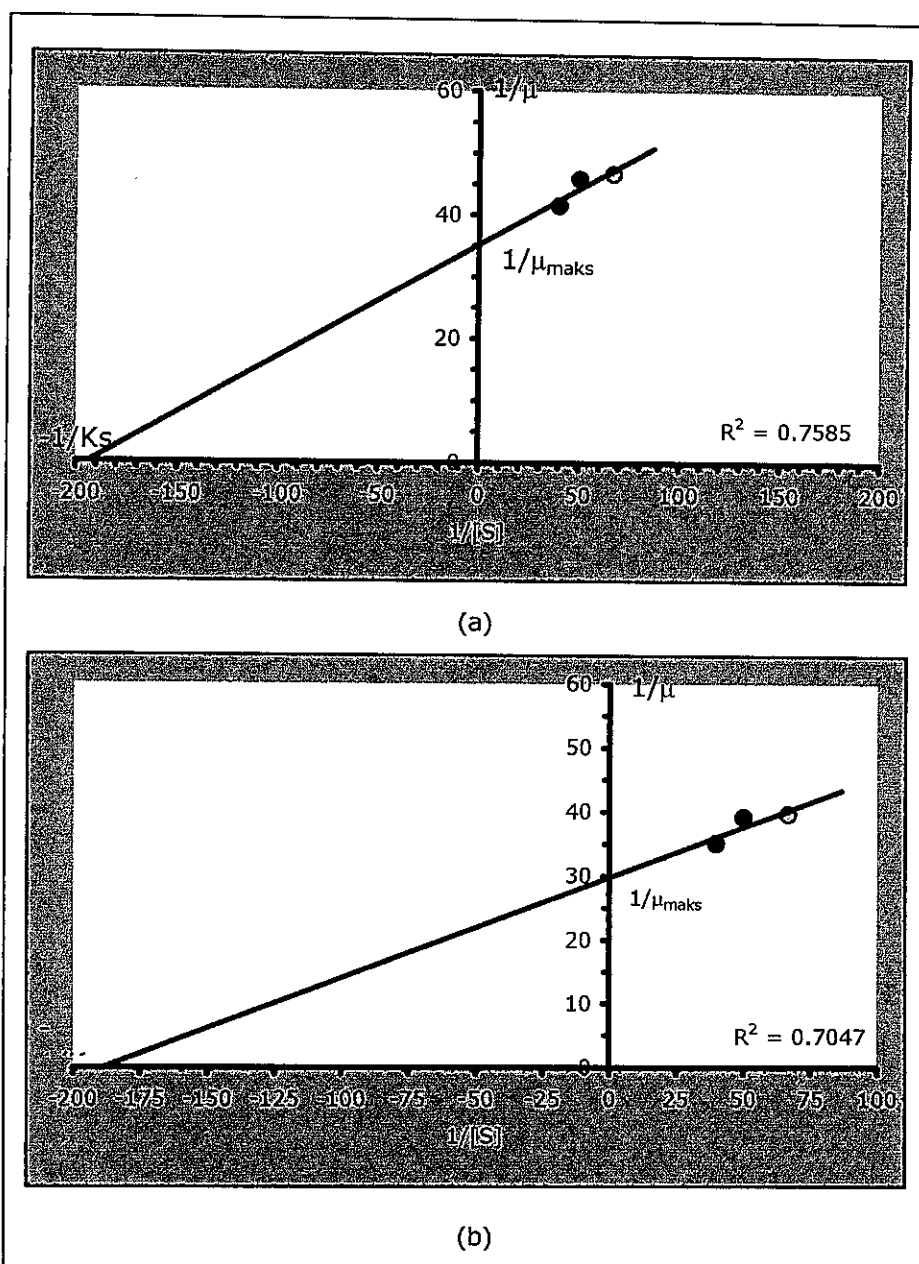
Gambar 43. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15,20, dan 25 ppm dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 44



Gambar 44. Grafik Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 17 dan 18) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 45



Gambar 45. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Lineweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a:

$$1/\mu_{maks} = 35.218 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0284 \text{ /jam} = 0.6816 \text{ /hari}$$

$$1/K_s = 194.0385 \text{ maka } K_s = 0.00515 \text{ gram/l} = 5.15 \text{ mg/l} = 5.15 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Keterangan b:

$$1/\mu_{maks} = 29.766 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0336 \text{ /jam} = 0.8064 \text{ /hari}$$

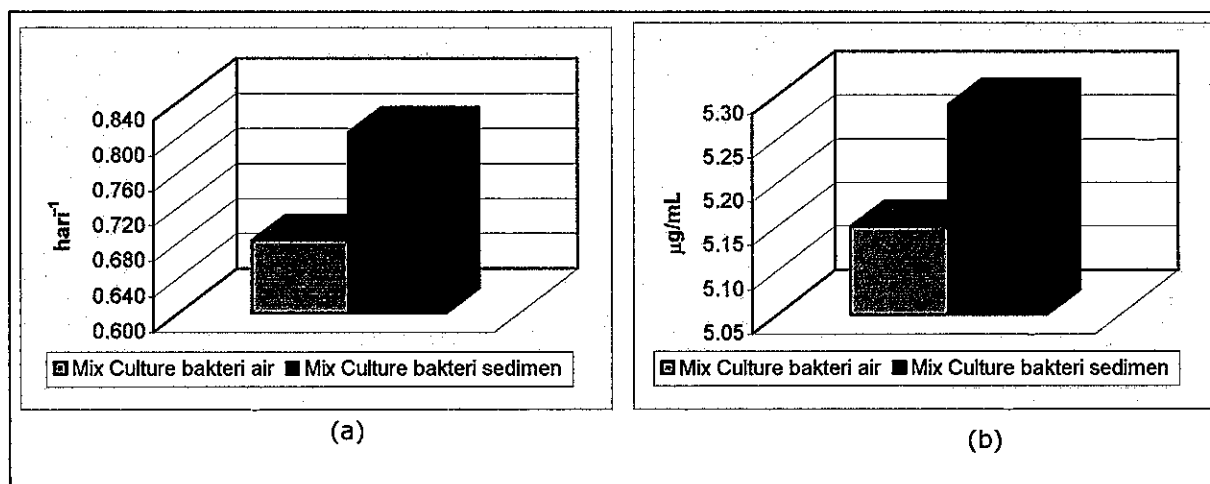
$$1/K_s = 188.87 \text{ maka } K_s = 0.00529 \text{ gram/l} = 5.29 \text{ mg/l} = 5.29 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Dari Linierisasi Lineweaver-Burk, diperoleh laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan Konstanta kejenuhan (K_s) dari masing-masing Mix Culture bakteri terdapat dalam Tabel 11 dan Gambar 46

Tabel 11. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

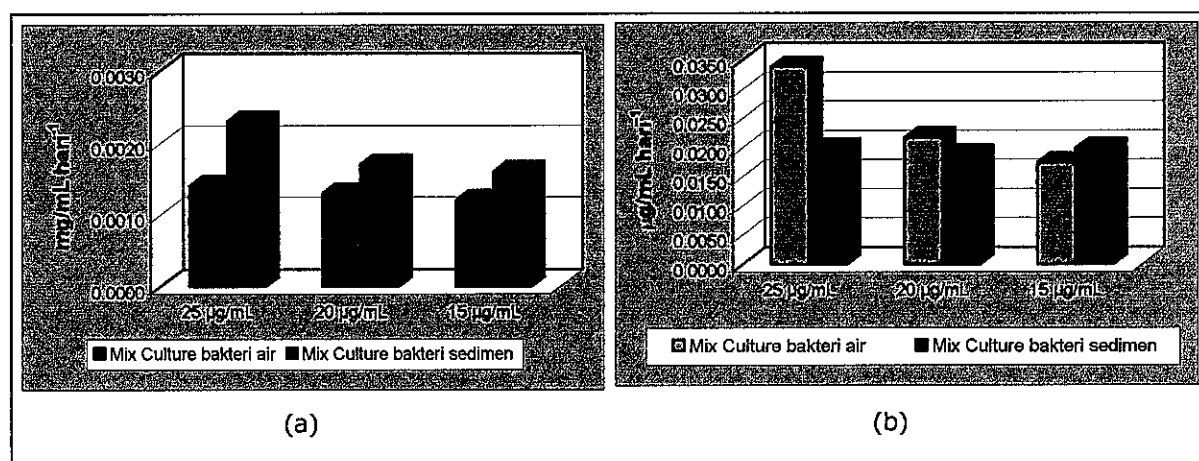
Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0,682	5,15
Mix Culture Bakteri Sedimen	0,806	5,29

Sumber : Data Primer, 2004



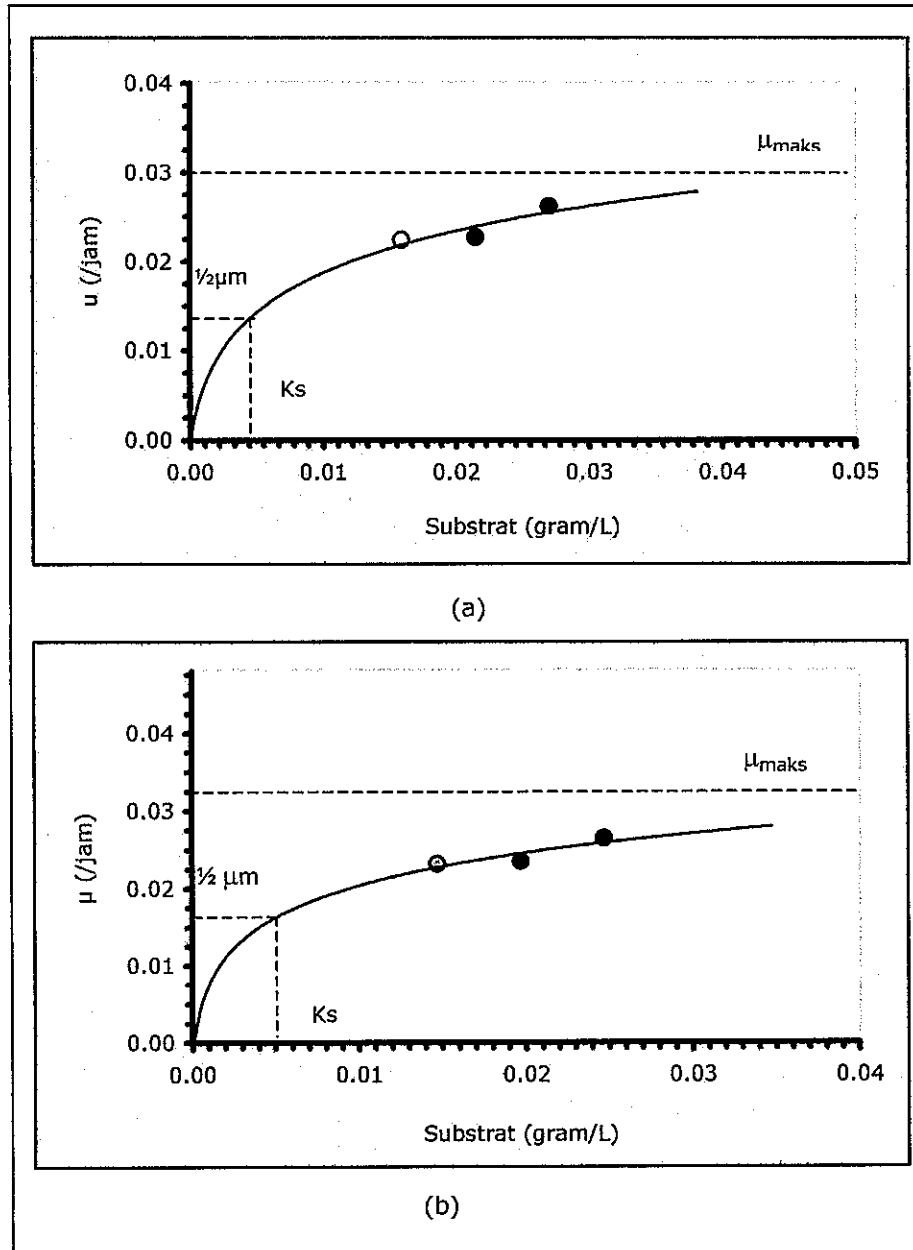
Gambar 46. Hasil (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Berdasarkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}) seperti pada Gambar 47



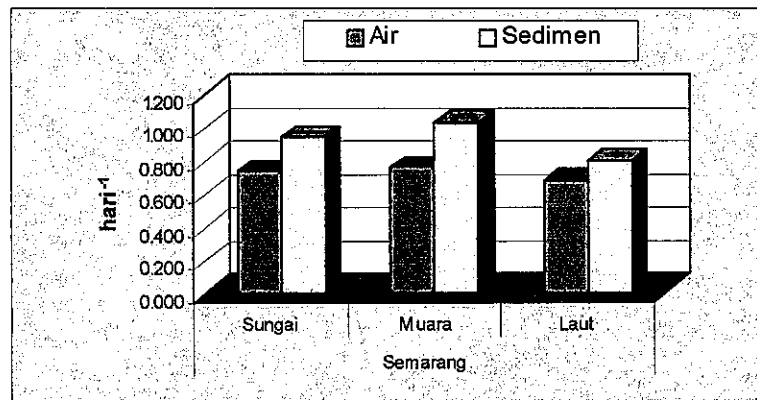
Gambar 47. Hasil (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix Culture diketahui, maka didapat persamaan kurva pertumbuhan Model Monod pada Gambar 48



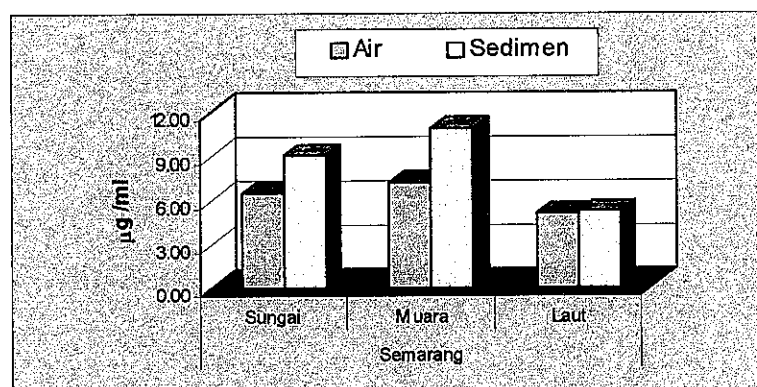
Gambar 48. Kurva Pertumbuhan Bakteri Model Monod (a) Mix Culture Bakteri Air dan (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan hasil penelitian, pada tipologi perairan kota besar (Semarang), laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) tertinggi terdapat pada muara sedimen sebesar ($1,034 \text{ hari}^{-1}$) dan terendah pada pada laut air sebesar ($0,682 \text{ hari}^{-1}$). Hasil μ_{maks} pada tiga kondisi lingkungan dapat dilihat pada Gambar 49



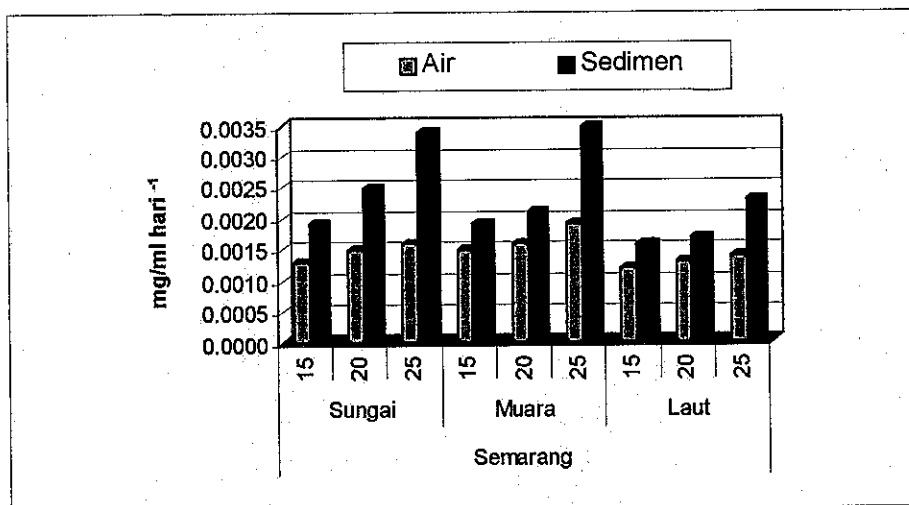
Gambar 49. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks})

Dari linierisasi Lineweaver Burk diperoleh persamaan Michaelis-Menten yaitu untuk kondisi sungai air $y=0,2104x + 32,423$, sungai sedimen $y=0,2295x + 25,91$, muara air $y=0,2216x + 30,713$, muara sedimen $y=0,2536x + 23,2213$, laut air $y=0,1815x + 35,218$ dan laut sedimen $y=0,1576x + 29,766$. Dari persamaan ini diperoleh nilai K_s . Untuk K_s tertinggi nilai terdapat pada muara sedimen sebesar ($10,90 \mu\text{g/ml}$) dan terendah pada Laut air sebesar ($5,15 \mu\text{g/ml}$). Hal ini menunjukkan bahwa mix culture bakteri yang mempunyai (μ_{maks}) dan K_s tertinggi memiliki kemampuan untuk mendegradasi koprostanol dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Hasil K_s pada tiga kondisi perairan pada Gambar 50



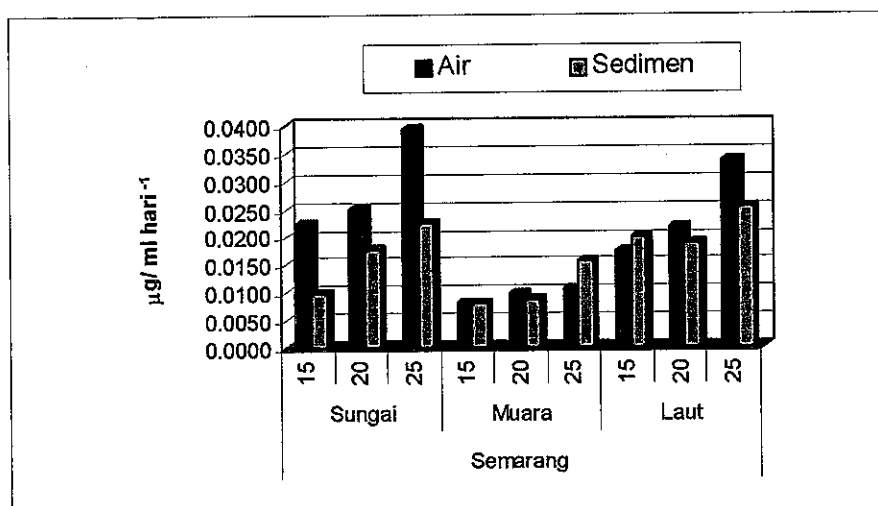
Gambar 50. Nilai Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Laju pertumbuhan bakteri tertinggi (r_g) terdapat pada konsentrasi 25 mg/l di muara sedimen yaitu 0,0035 mg/ml hari⁻¹ dan terendah pada konsentrasi 15 mg/l di laut air yaitu 0,0012 mg/ml hari⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi maka pertumbuhan bakterinya juga tinggi dan berpeluang terdeteksi di sedimen. Besarnya konsentrasi pertumbuhan bakteri dapat dilihat dari Gambar 51



Gambar 51. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g)

Besarnya Laju penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi pada konsentrasi 25 mg/l pada kondisi lingkungan sungai sedimen yaitu 0,0277 μ g/ml hari⁻¹ dan terendah pada muara air yaitu 0,0079 μ g/ml hari⁻¹. Besarnya penggunaan substrat (r_{su}) pada tiga kondisi lingkungan terdapat pada Gambar 52



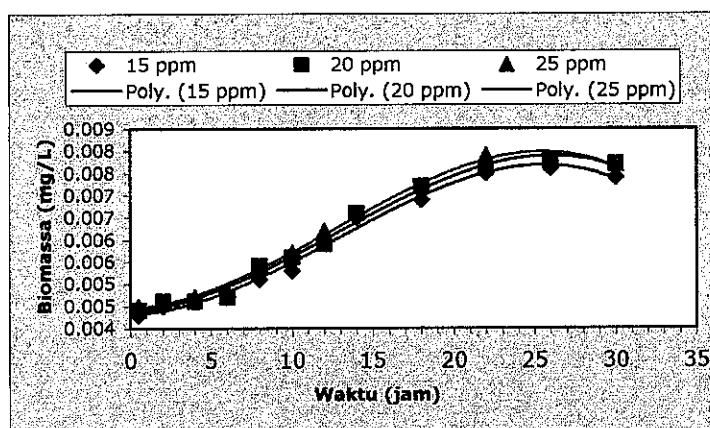
Gambar 52. Hasil Laju Penggunaan substrat (r_{su})

Laju biodegradasi koprostanol oleh bakteri air dan sedimen pada tipologi kota Semarang dapat dilihat dari Gambar 52, dimana nilai Laju Penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi di sungai. Menurut Suhartono (2003) pada sungai memiliki nilai IP 13,53 dan tergolong tercemar berat. Seperti juga di lokasi Jakarta, tingginya indeks pencemaran di lingkungan sungai pada musim kemarau disebabkan karena sungai merupakan masuknya limbah domestik dari berbagai aktifitas manusia di daratan, seperti permukiman, perkantoran, perhotelan, dan perniagaan. Selain itu, pada kondisi musim kemarau, aliran Banjir Kanal Timur relatif kecil dan dominan merupakan limbah domestik. Kondisi tersebut menyebabkan tingginya nilai kekeruhan, BOD, deterjen dan fecal coliform serta rendahnya nilai DO dan kecerahan perairan. Sedangkan pada muara laju biodegradasinya relatif rendah karena karakteristik muara Banjir Kanal Timur yang tidak ada pemukiman penduduk sekitarnya.

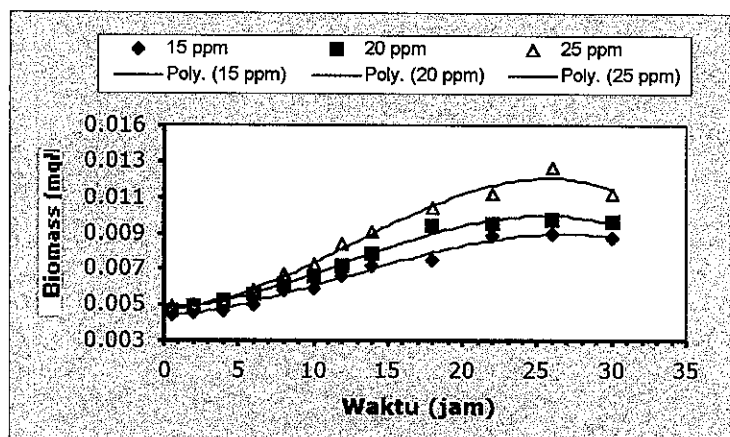
4.3. Lokasi Penelitian Jepara

4.3.1. Jepara Sungai Air (JPSA) dan Jepara Sungai Sedimen (JPSS)

Nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui dari fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 53



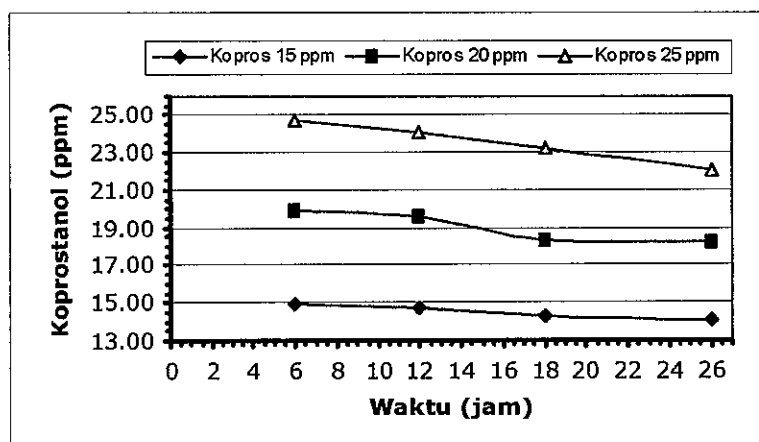
(a)



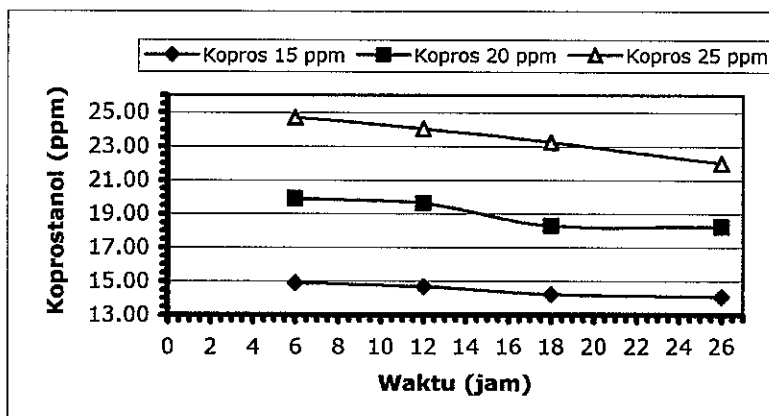
(b)

Gambar 53. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15, 20, dan 25 ppm: (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 54



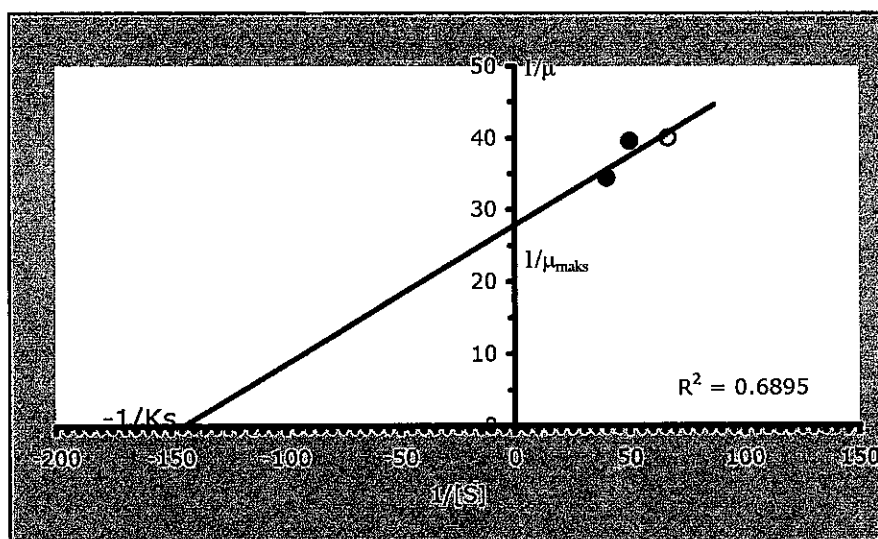
(a)



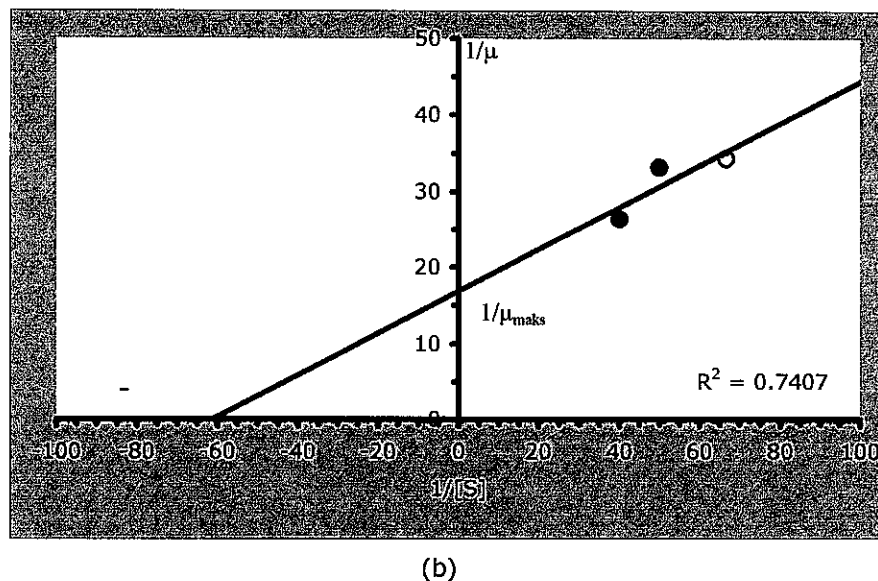
(b)

Gambar 54. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 19 dan 20) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 55



(a)



Gambar 55. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Lineweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a:

$$1/\mu_{maks} = 27.901 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.036 \text{ /jam} = 0.864 \text{ /hari}$$

$$1/K_s = 144.79 \text{ maka } K_s = 0.00691 \text{ gram/l} = 6.91 \text{ mg/l} = 6.91 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Keterangan b:

$$1/\mu_{maks} = 16.928 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.05907 \text{ /jam} = 1.418 \text{ /hari}$$

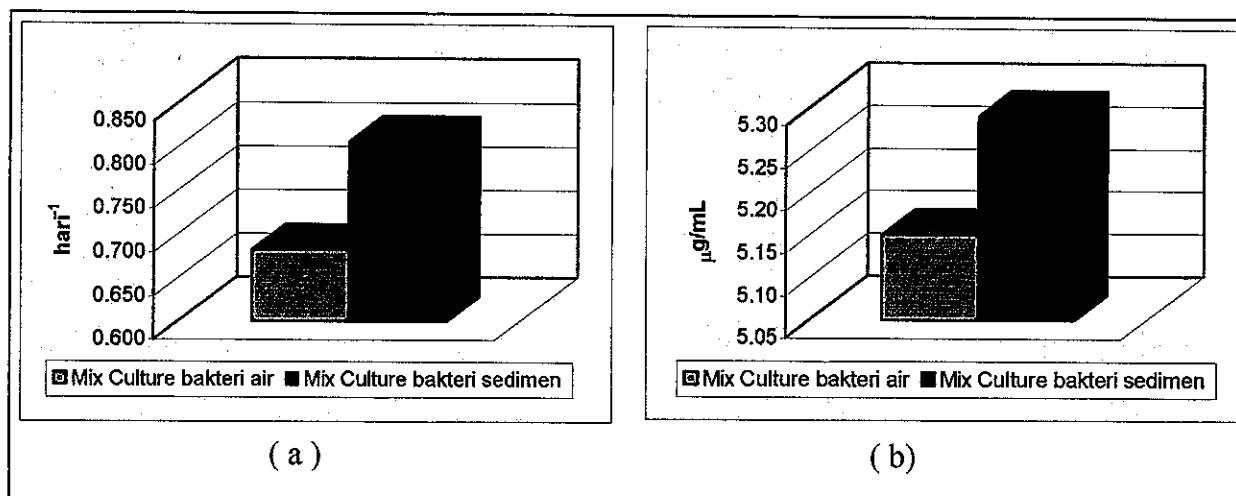
$$1/K_s = 61.40 \text{ maka } K_s = 0.01628 \text{ gram/l} = 16.28 \text{ mg/l} = 16.28 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Berdasarkan persamaan dari Linierisasi Lineweaver-Burk, diperoleh laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan Konstanta kejenuhan (K_s) dari masing-masing Mix Culture bakteri terdapat dalam Tabel 12 dan Gambar 56

Tabel 12. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

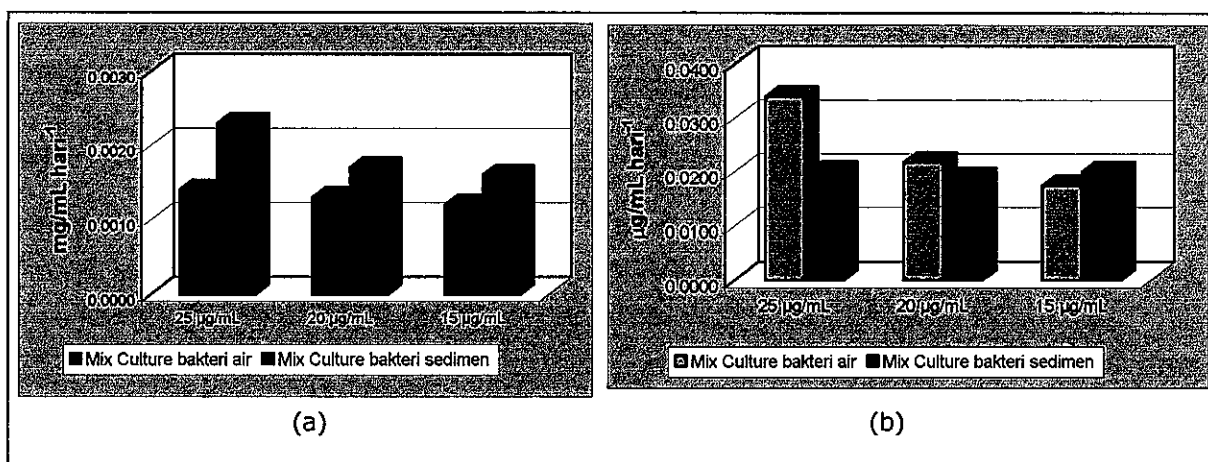
Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0,864	6,91
Mix Culture Bakteri Sedimen	1,418	16,28

Sumber : Data Primer, 2004



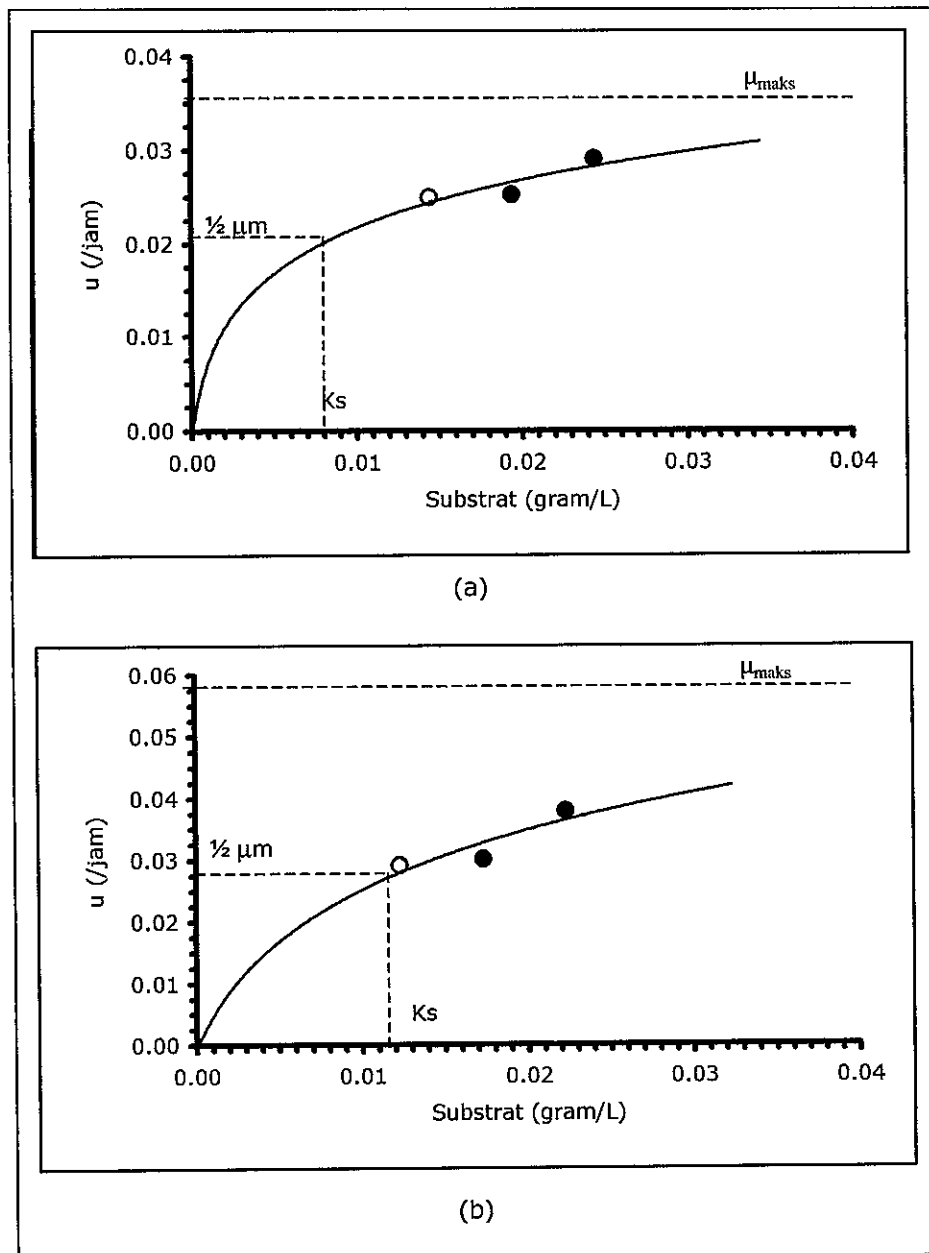
Gambar 56. Hasil (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Setelah didapatkan hasil uji kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri, yaitu : laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}) pada tiap-tiap konsentrasi koprostanol pada media uji.



Gambar 57. Hasil (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

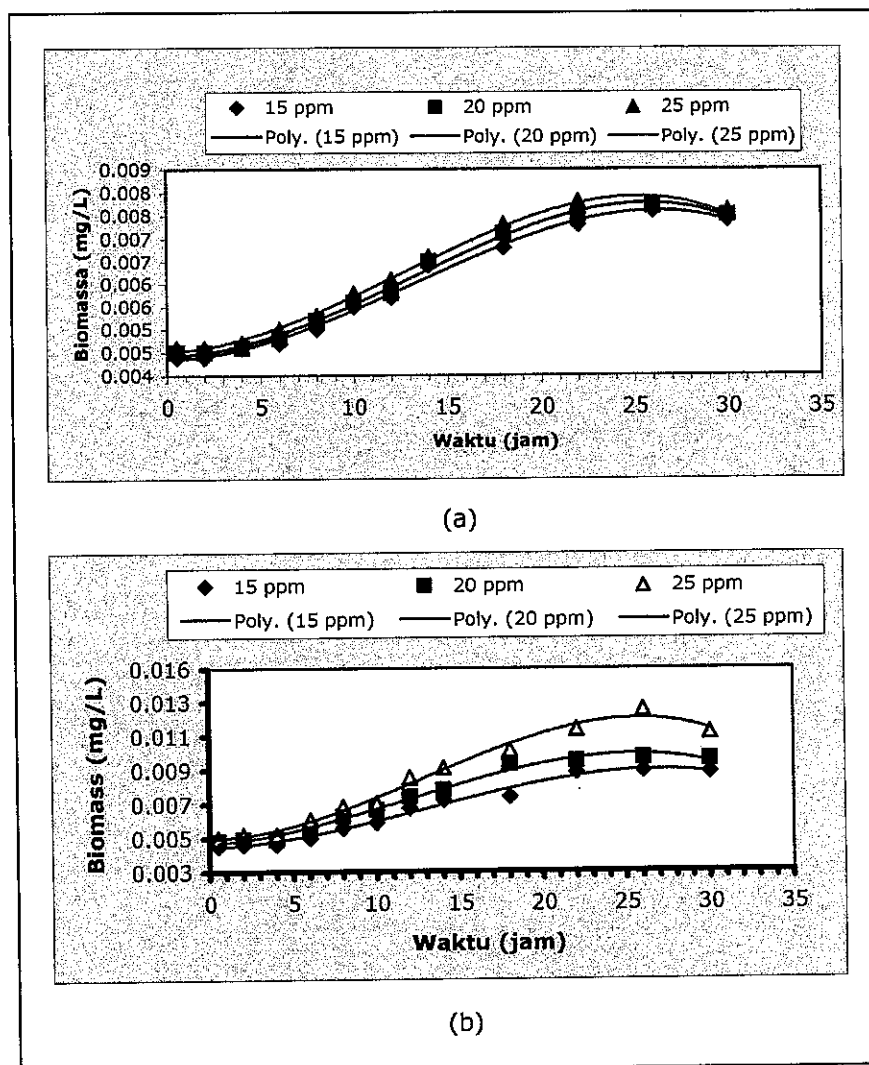
Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix Culture diketahui, maka didapat persamaan kurva pertumbuhan Model Monod pada Gambar 58



Gambar 58. Kurva Pertumbuhan Model Monod Untuk (a) Bakteri Air, (b) Bakteri Sedimen

4.3.2. Jepara Muara Air (JPMA) dan Jepara Muara Sedimen (JPMS)

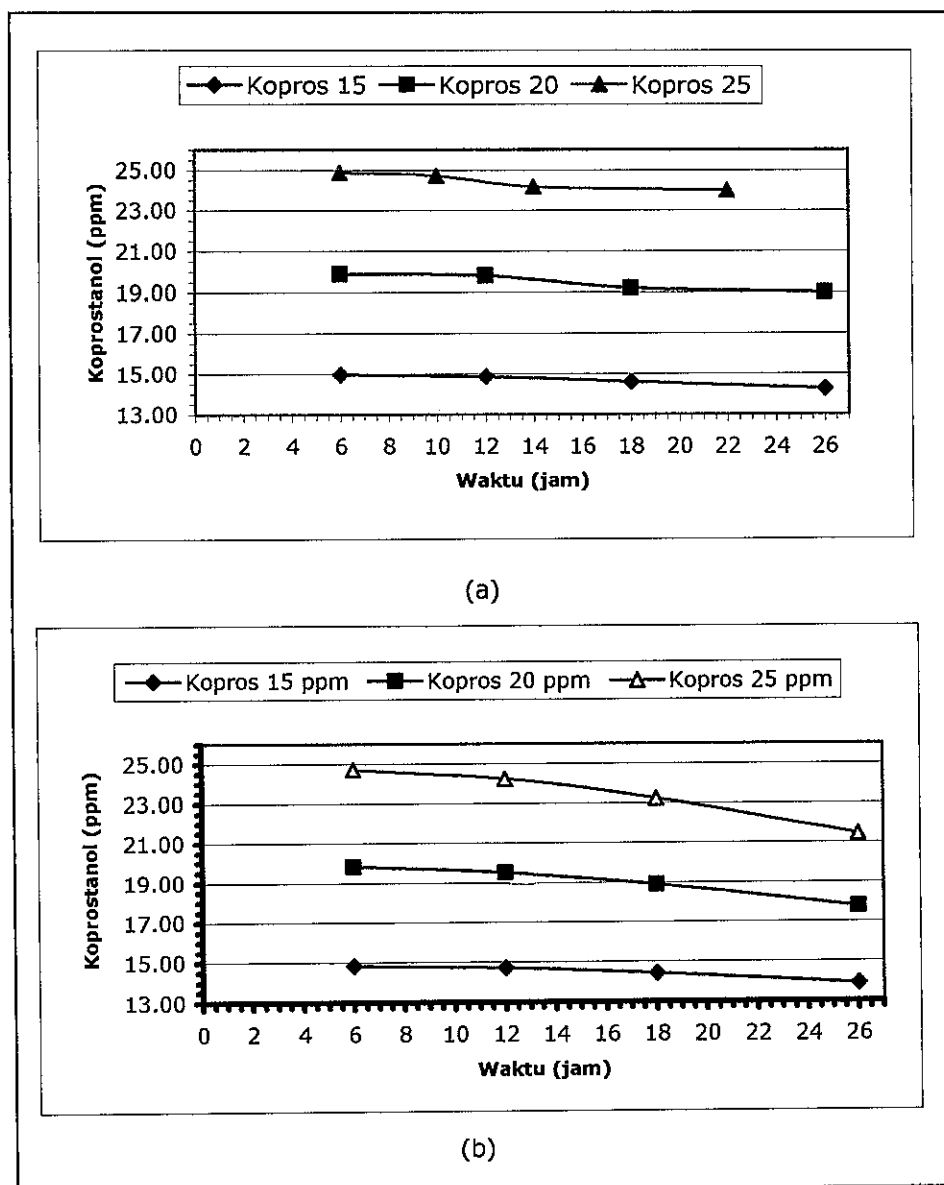
Nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui dari fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 59



Gambar 59. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15, 20, dan 25 ppm dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

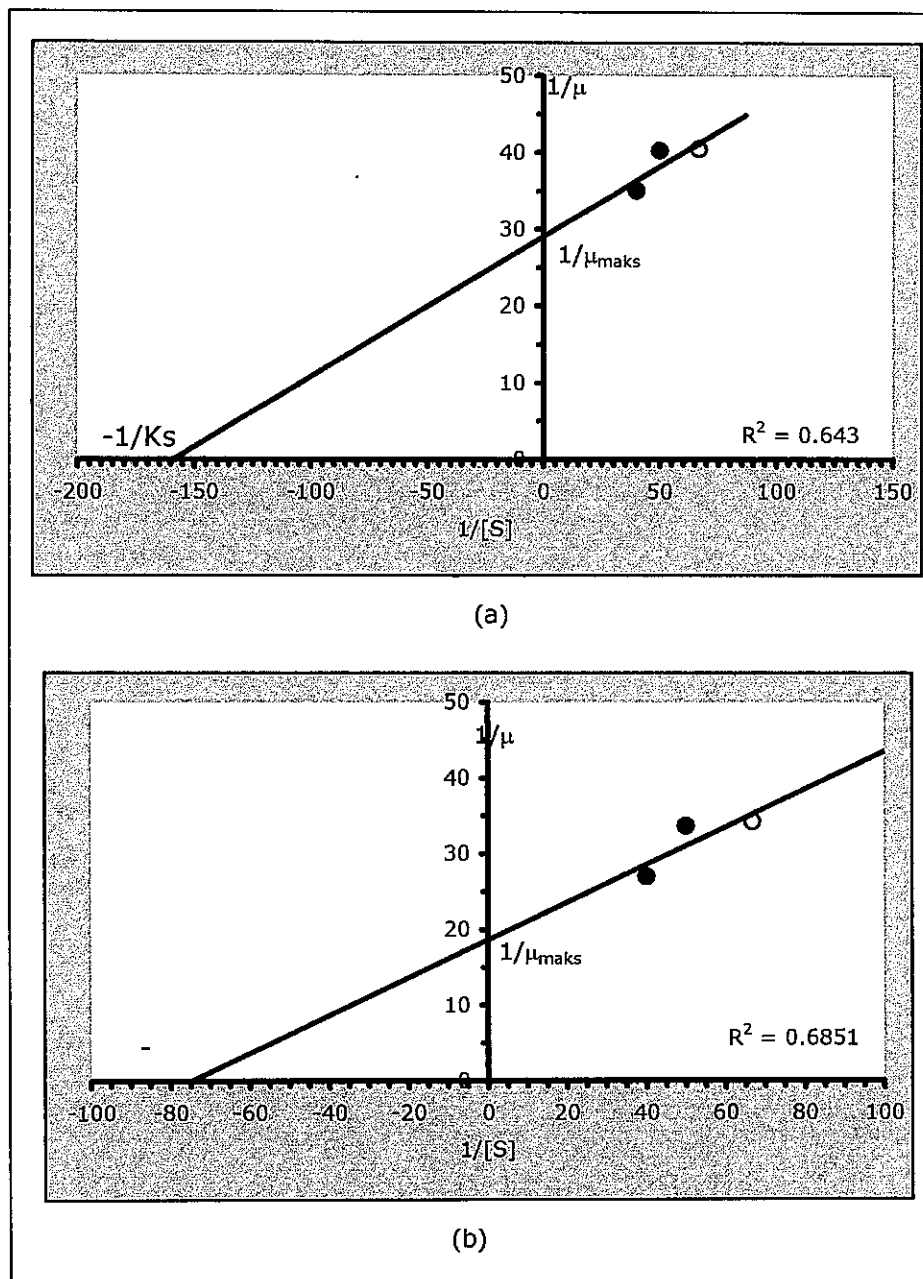
Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l

sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 60



Gambar 60. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 21 dan 22) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 61



Gambar 61. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Lineweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a:

$$1/\mu_{maks} = 29,087 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.034 \text{ /jam} = 0.816 \text{ /hari}$$

$$1/K_s = 159,112 \text{ maka } K_s = 0.00628 \text{ gram/l} = 6.28 \text{ mg/l} = 6.28 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Keterangan b:

$$1/\mu_{maks} = 18,616 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0537 \text{ /jam} = 1.289 \text{ /hari}$$

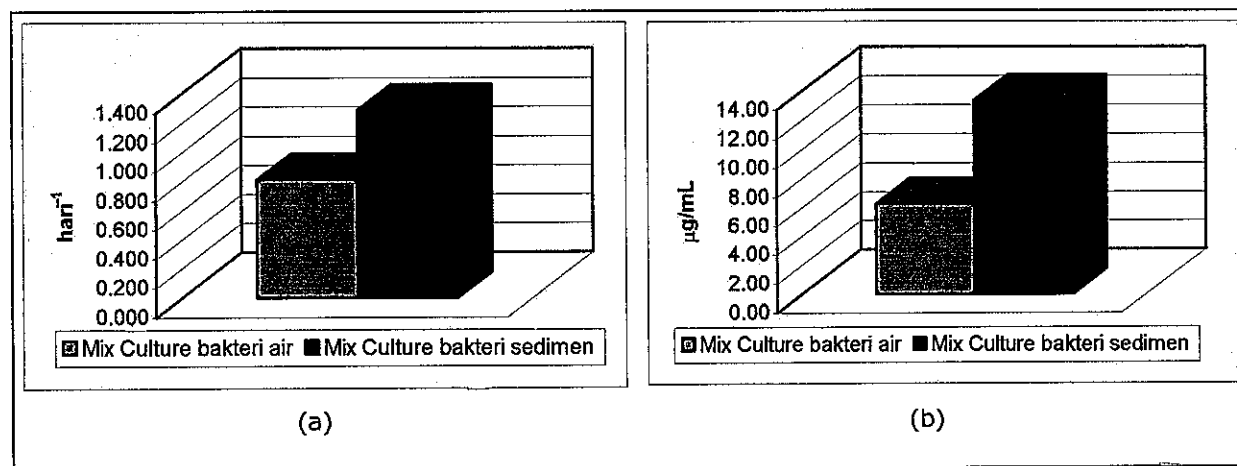
$$1/K_s = 74,733 \text{ maka } K_s = 0.01338 \text{ gram/l} = 13.384 \text{ mg/l} = 13.38 \text{ } \mu\text{g/ml}$$

Berdasarkan persamaan dari Linierisasi Lineweaver-Burk, diperoleh laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan Konstanta kejenuhan (K_s) dari masing-masing Mix Culture bakteri terdapat dalam Tabel 13 dan Gambar 62

Tabel 13. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

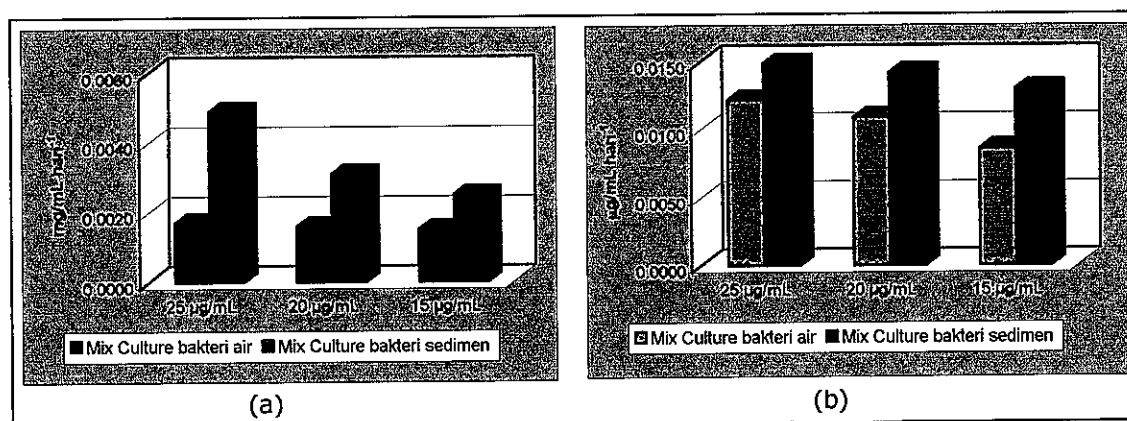
Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0,816	6,28
Mix Culture Bakteri Sedimen	1,289	13,38

Sumber : Data Primer, 2004



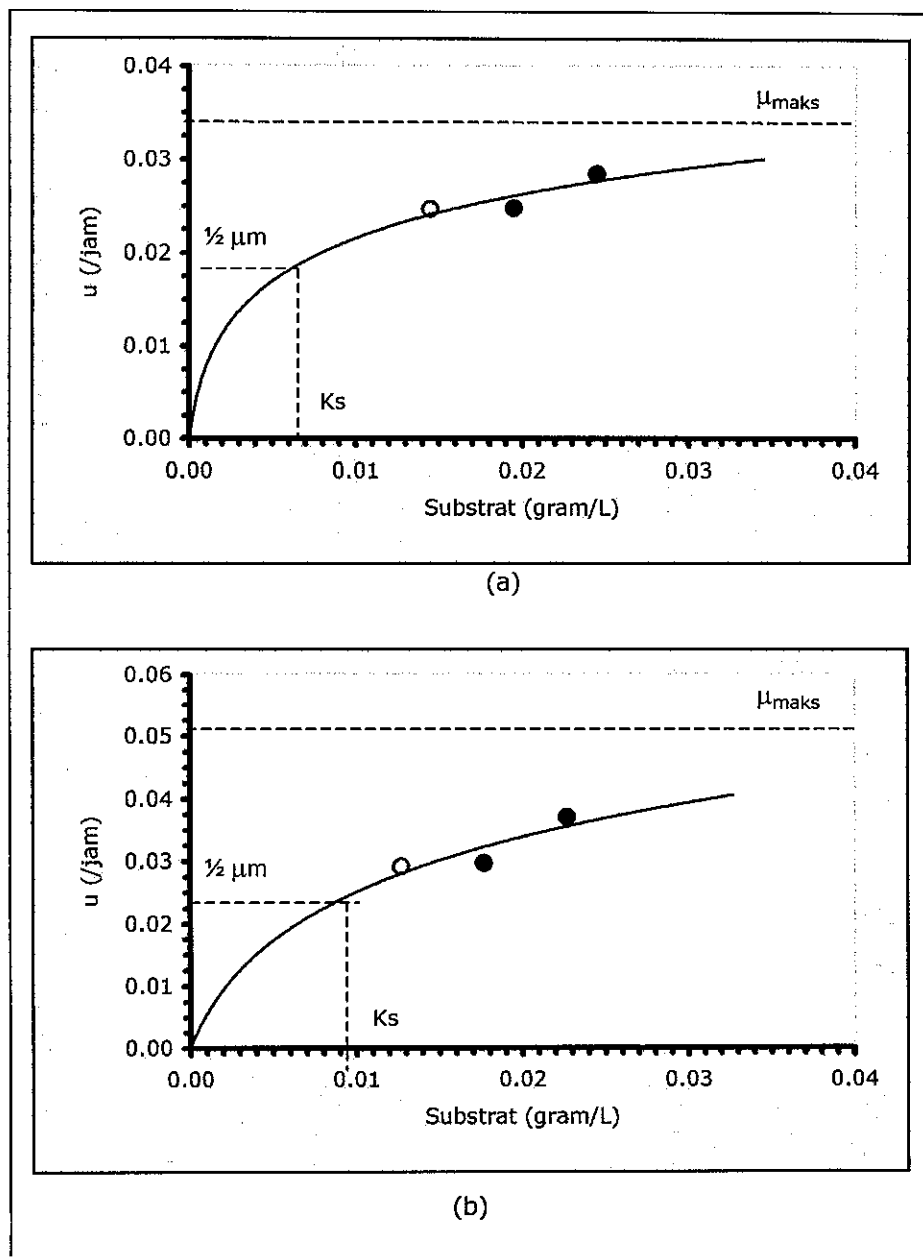
Gambar 62. Hasil (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Setelah didapatkan hasil uji kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri, yaitu: laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}) pada tiap-tiap konsentrasi koprostanol pada media uji.



Gambar 63. Hasil: (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

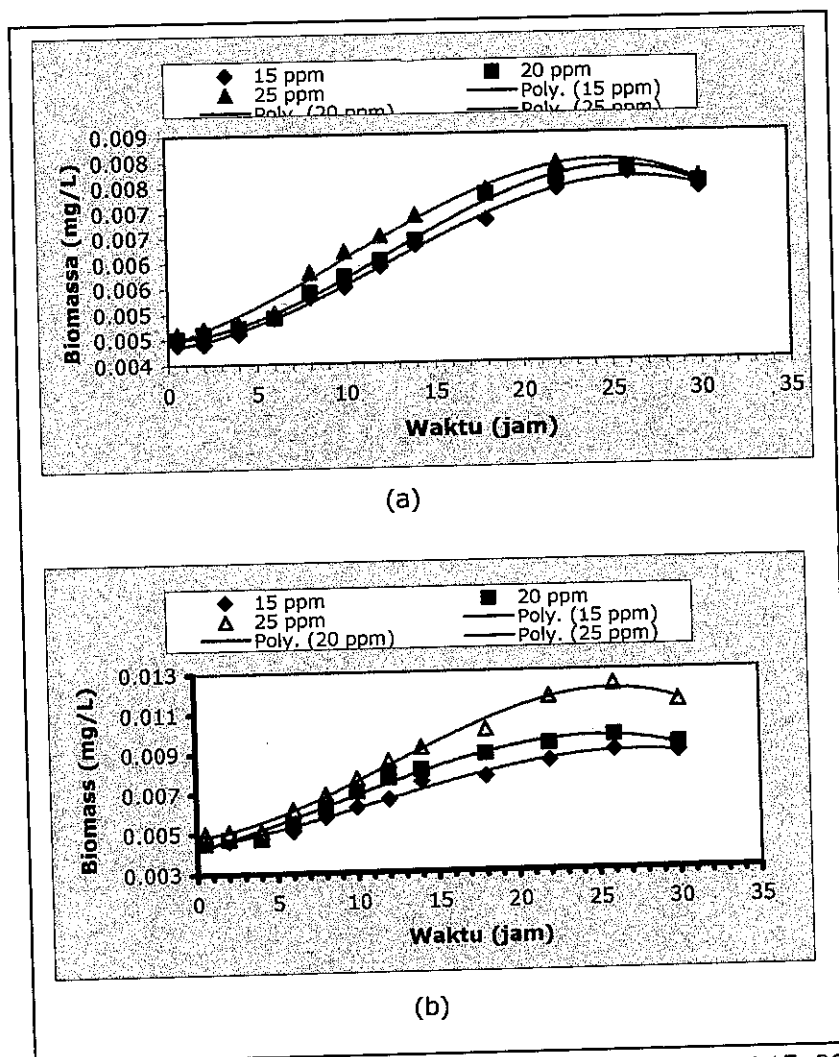
Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix Culture diketahui, maka didapat persamaan kurva pertumbuhan Model Monod pada Gambar 64



Gambar 64. Kurva Pertumbuhan Model Monod Untuk (a) Bakteri Air, (b) Bakteri Sedimen

4.3.3. Jepara Laut Air (JPLA) dan Jepara Laut Sedimen (JPLS)

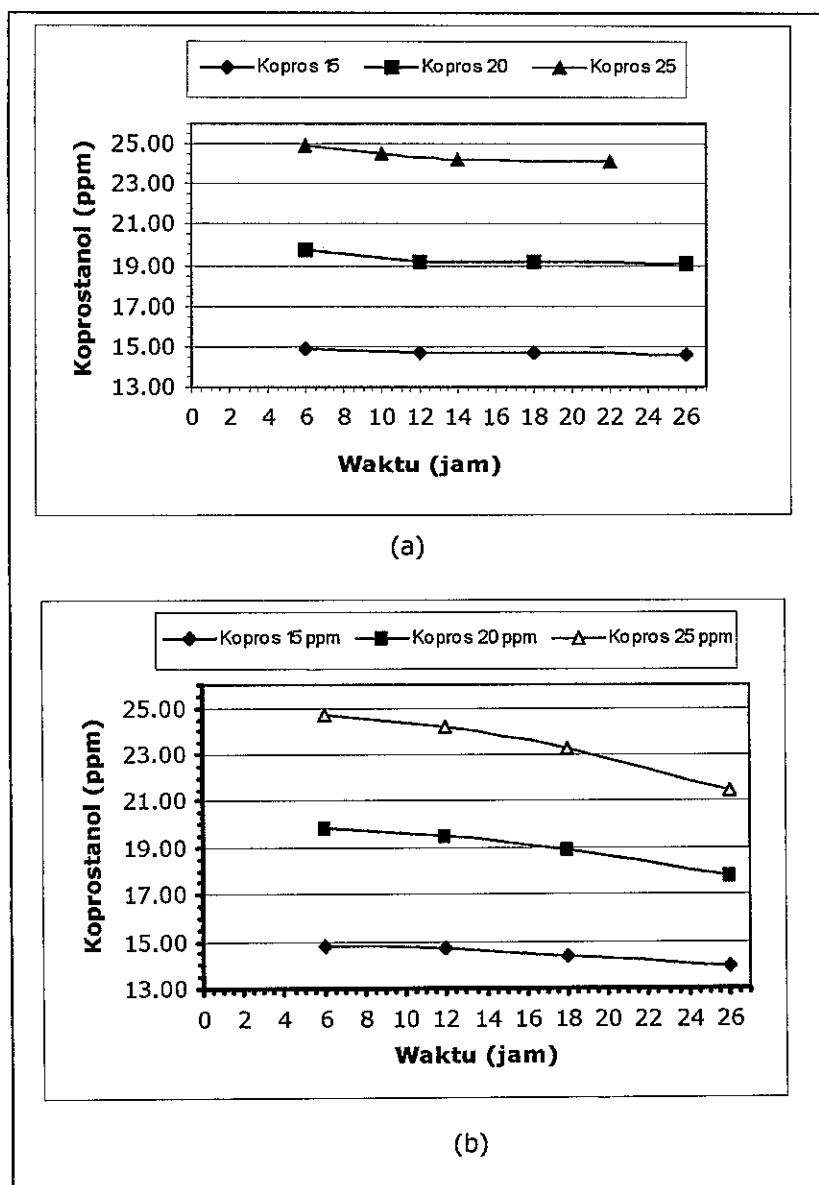
Nilai biomassa untuk tiap-tiap konsentrasi pada interval tertentu, dapat diketahui dari fase eksponensial pertumbuhan bakteri untuk tiap-tiap konsentrasi. Penentuan fase eksponensial pertumbuhan bakteri dilakukan berdasarkan kurva pertumbuhan bakteri pada 3 konsentrasi yang terdapat dalam Gambar 65



Gambar 65. Grafik Pertumbuhan Bakteri pada Konsentrasi 15, 20, dan 25 ppm dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Mix Culture Bakteri Sedimen

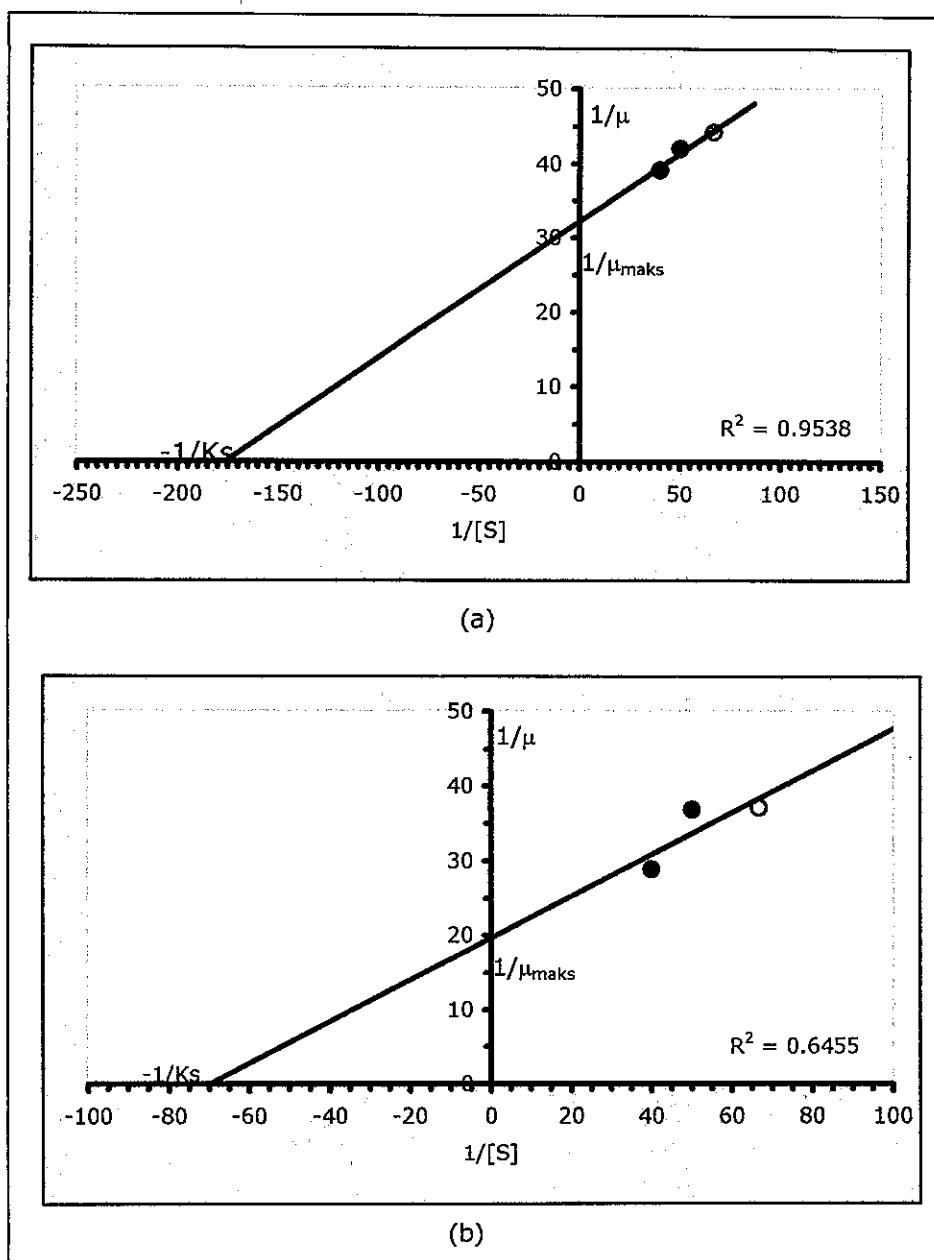
Perubahan konsentrasi koprostanol pada Mix Culture bakteri air dan sedimen menunjukkan bahwa konsentrasi koprostanol yang ditingkatkan dari 15 mg/l, 20 mg/l

sampai 25 mg/l tampak mengalami penurunan konsentrasi substrat oleh bakteri terseleksi, yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 66



Gambar 66. Kurva Perubahan Konsentrasi Koprostanol (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Berdasarkan data biodegradasi koprostanol pada (Lampiran 23 dan 24) dengan menggunakan metode Lineweaver-Burk, maka didapatkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan ketetapan kejenuhan (K_s) untuk tiap-tiap bakteri. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh Grafik seperti pada Gambar 67



Gambar 67. Penentuan μ_{maks} dan K_s dengan Lineweaver-Burk dari (a) Mix Culture Bakteri Air, (b) Mix Culture Bakteri Sedimen

Keterangan a:

$$1/\mu_{maks} = 32.288 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0301 \text{ /jam} = 0.722/\text{hari}$$

$$1/K_s = 176.534 \text{ maka } K_s = 0.000566 \text{ gram/l} = 5.66 \text{ mg/l} = 5.66 \mu\text{g/ml}$$

Keterangan b:

$$1/\mu_{maks} = 19.655 \text{ maka } \mu_{maks} = 0.0508 \text{ /jam} = 1.2192/\text{hari}$$

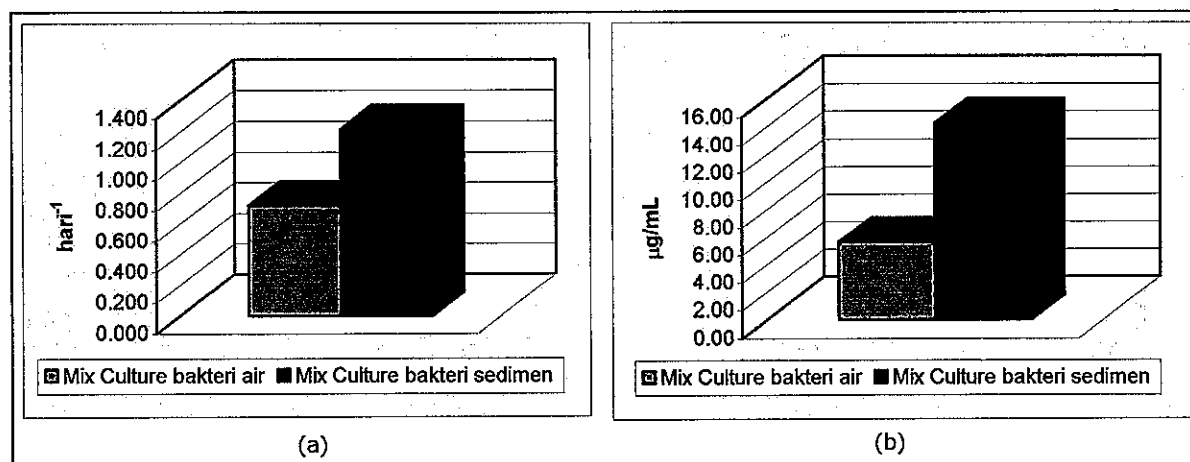
$$1/K_s = 69.9996 \text{ maka } K_s = 0.01428 \text{ gram/l} = 14.28 \text{ mg/l} = 14.28 \mu\text{g/ml}$$

Berdasarkan persamaan dari Linierisasi Lineweaver-Burk, diperoleh laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) dan Konstanta kejenuhan (K_s) dari masing-masing Mix Culture bakteri terdapat dalam Tabel 14 dan Gambar 68

Tabel 14. Nilai μ_{maks} dan K_s untuk Tiap Mix Culture Bakteri

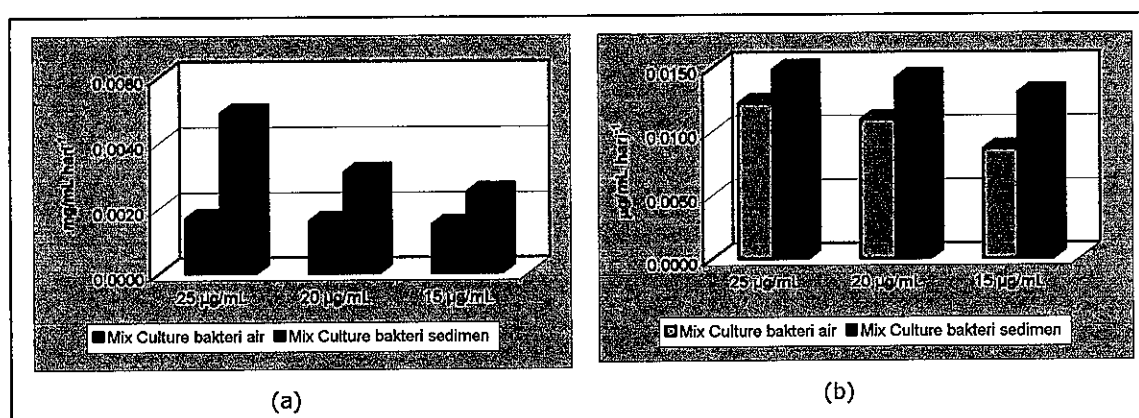
Uji Biodegradasi	μ_{maks} (hari ⁻¹)	K_s ($\mu\text{g/ml}$)
Mix Culture Bakteri Air	0,722	5.66
Mix Culture Bakteri Sedimen	1,219	14.28

Sumber : Data Primer, 2004



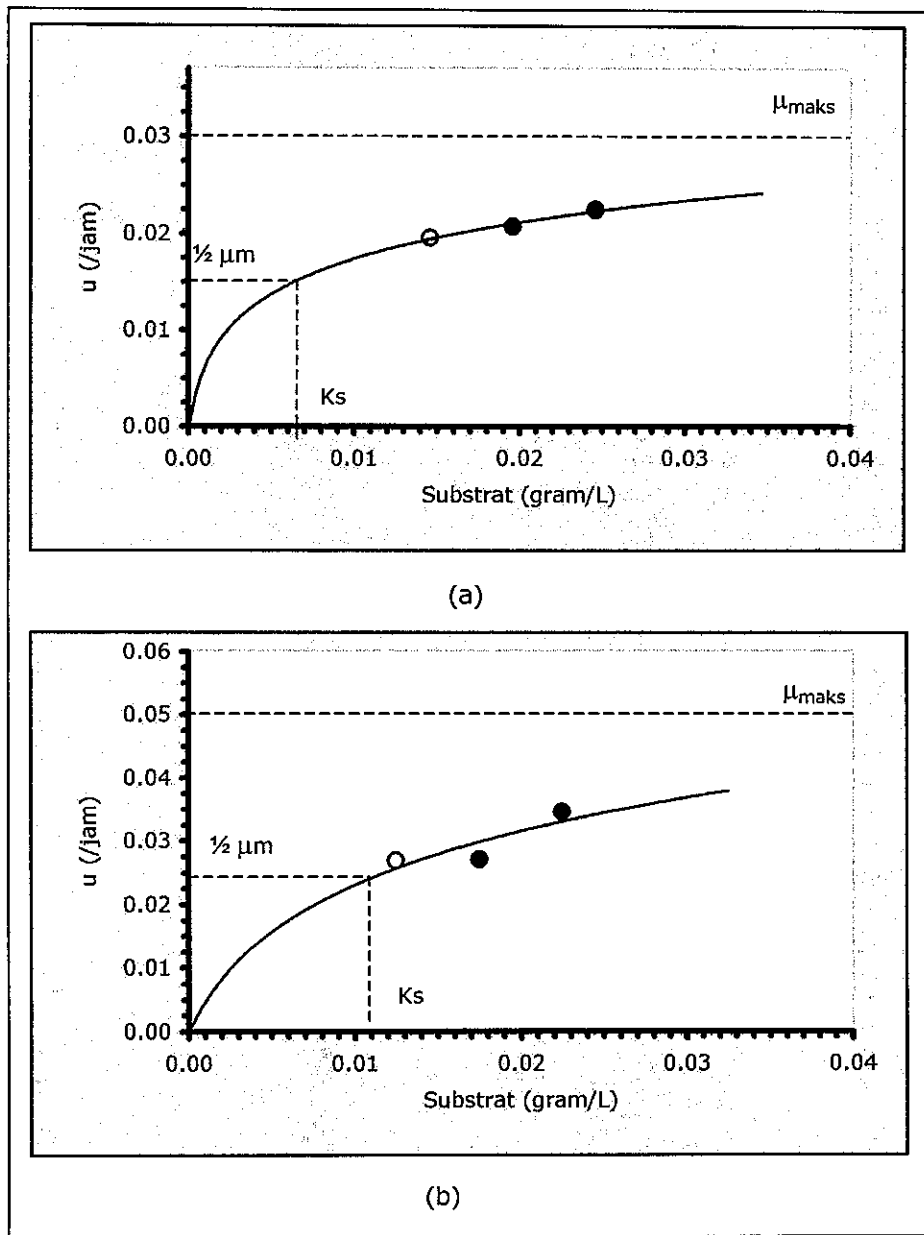
Gambar 68. Hasil (a) Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks}), (b) Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Setelah didapatkan hasil uji kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri, yaitu laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}), Konstanta kejenuhan (K_s), dan konsentrasi biomassa (X), maka dapat ditentukan laju pertumbuhan bakteri (r_g) dan laju penggunaan substrat (r_{su}) pada tiap-tiap konsentrasi koprostanol pada media uji.



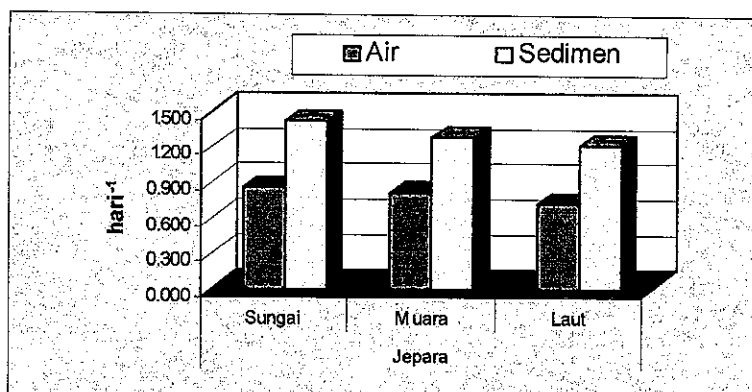
Gambar 69. Hasil: (a) Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g), (b) Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

Setelah μ_{maks} dan K_s dari tiap Mix Culture diketahui, maka didapat persamaan kurva pertumbuhan Model Monod pada Gambar 70



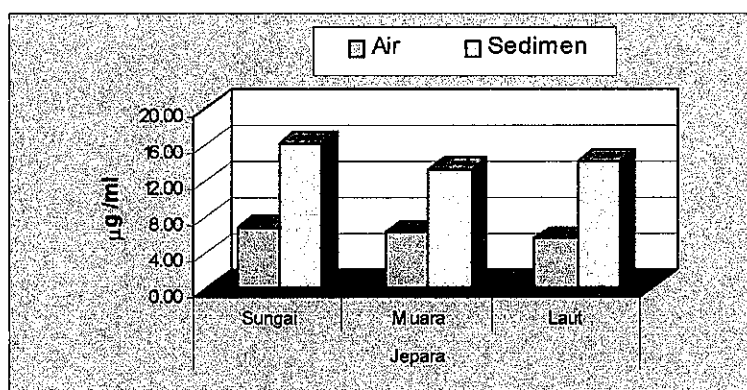
Gambar 70. Kurva Pertumbuhan Model Monod Untuk (a) Bakteri Air, (b) Bakteri Sedimen

Pada tipologi perairan kota kecil (Jepara), laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{maks}) tertinggi terdapat pada sungai sedimen sebesar ($1,418 \text{ hari}^{-1}$) dan terendah pada laut air sebesar ($0,722 \text{ hari}^{-1}$). Hasil μ_{maks} pada tiga kondisi lingkungan dapat dilihat pada Gambar 71



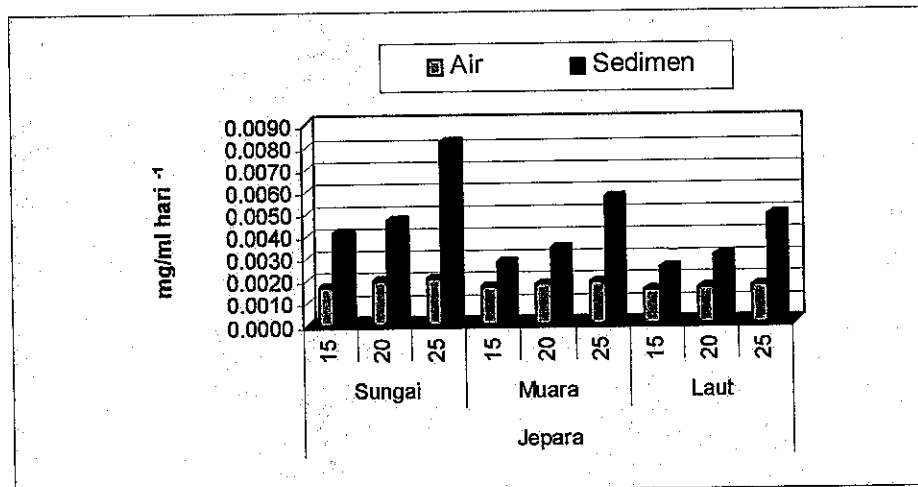
Gambar 71. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks})

Dari linierisasi Lineweaver Burk diperoleh persamaan Michaelis-Menten yaitu untuk kondisi sungai air $y=0,1927x + 27,901$, sungai sedimen $y=0,2757x + 16,928$, muara air $y=0,1828x + 29,087$, muara sedimen $y=0,2491x + 18,616$, laut air $y=0,1829x + 32,288$ dan laut sedimen $y=0,2808x + 18,655$. Hal ini menunjukkan bahwa mix culture bakteri yang mempunyai (μ_{maks}) dan K_s tertinggi memiliki kemampuan untuk mendegradasi koprostanol dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Hasil K_s pada tiga kondisi perairan dapat dilihat dari Gambar 72



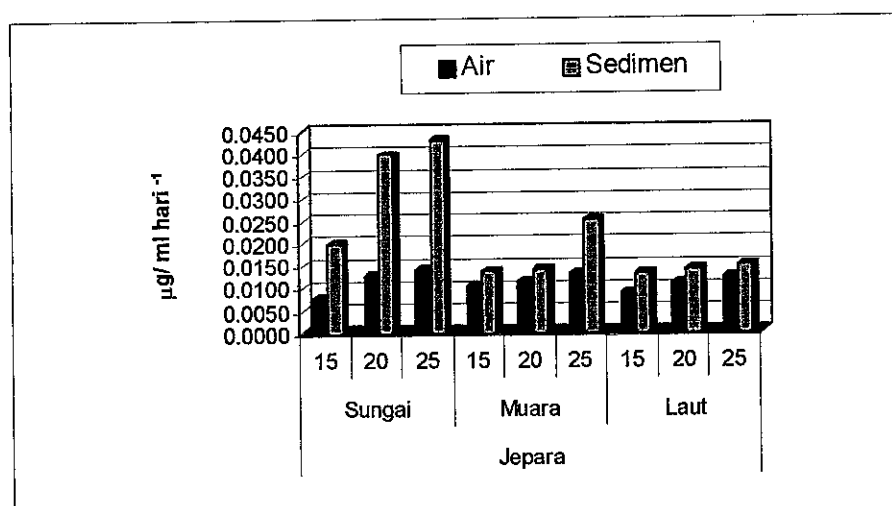
Gambar 72. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Laju pertumbuhan bakteri tertinggi (r_g) terdapat pada konsentrasi 25 mg/l di sungai sedimen yaitu $0,0082 \text{ mg/ml hari}^{-1}$ dan terendah pada konsentrasi 15 mg/l di laut air yaitu $0,0015 \text{ mg/ml hari}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi maka pertumbuhan bakterinya juga tinggi dan berpeluang terdeteksi di sedimen. Besarnya konsentrasi pertumbuhan bakteri dapat dilihat dari Gambar 73



Gambar 73. Hasil Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g)

Besarnya Laju penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi pada konsentrasi 25 mg/l pada kondisi lingkungan sungai sedimen yaitu $0,0429 \text{ } \mu\text{g/ml hari}^{-1}$ dan terendah pada sungai air yaitu $0,0078 \text{ } \mu\text{g /ml hari}^{-1}$. Besarnya penggunaan substrat (r_{su}) pada tiga kondisi lingkungan terdapat pada Gambar 74



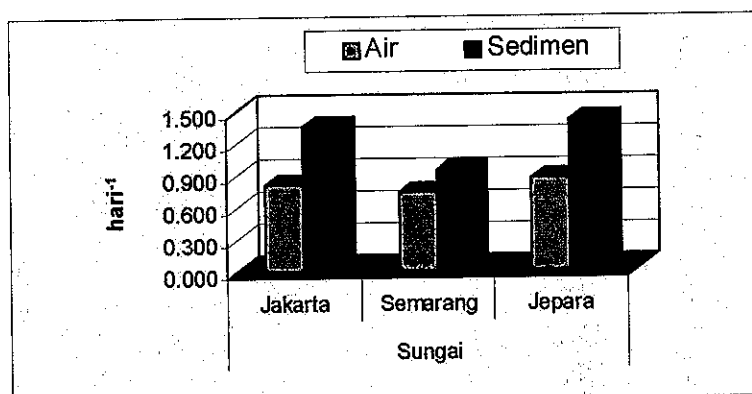
Gambar 74. Hasil Laju Penggunaan substrat (r_{su})

Laju biodegradasi koprostanol oleh bakteri air dan sedimen pada tipologi kota Jepara dapat dilihat dari Gambar 75, dimana nilai Laju Penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi di sungai. Menurut Suhartono (2003) pada sungai memiliki nilai IP 11,41 dan tergolong tercemar berat. Hal ini karena masukan limbah domestik umumnya melalui sungai-sungai yang melalui daerah permukiman. Pada musim kemarau dimana aliran sungai menjadi sangat kecil, dan umumnya didominasi dari limbah domestik, sehingga indeks pencemaran limbah domestik menjadi tinggi. Laju biodegradasi selain dipengaruhi kondisi fisik dan kimia perairan, juga dipengaruhi oleh karakteristik bakterinya.

Laju Biodegradasi Koprostanol oleh Bakteri Terseleksi Ditinjau Dari Kondisi Lingkungan

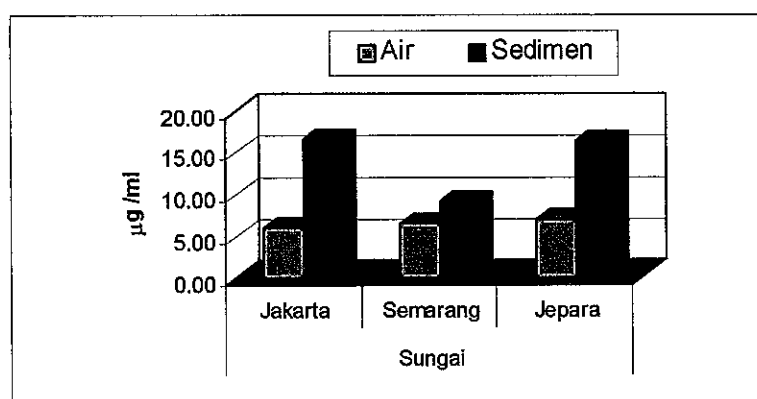
Kondisi Lingkungan Sungai

Pada kondisi lingkungan sungai sedimen laju pertumbuhan spesifik maksimum tertinggi (μ_{maks}) terdapat pada tipologi perairan kota metropolitan (Jakarta) sebesar $1,356 \text{ hari}^{-1}$, disusul dengan lingkungan perairan kota kecil (Jepara) sebesar $1,418 \text{ hari}^{-1}$ sedangkan yang paling lambat terjadi di lingkungan perairan kota besar (Semarang) sebesar $0,948 \text{ hari}^{-1}$. Untuk bakteri sungai air nilai μ_{maks} tertinggi di kota Jepara ($0,684 \text{ hari}^{-1}$), disusul kota Jakarta ($0,815 \text{ hari}^{-1}$), dan terendah di kota Semarang ($0,739 \text{ hari}^{-1}$). Antara sungai air dan sedimen pada tiga tipologi kota lebih tinggi di sedimen karena nilai μ_{maks} tinggi berarti mempunyai kemampuan untuk mendegradasi koprostanol dengan konsentrasi yang lebih tinggi sehingga berpeluang terakumulasi di sedimen.



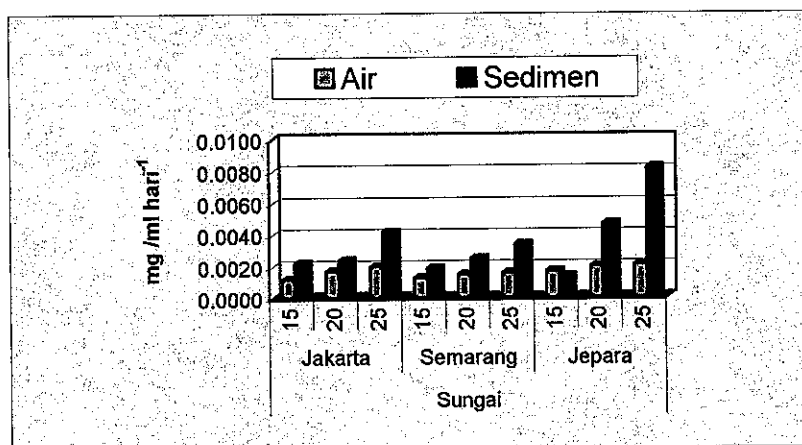
Gambar 75. Hasil Nilai Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks})

Untuk nilai K_s di sungai pada sedimen tertinggi di kota Jakarta sebesar 16,69 $\mu\text{g/ml}$, kota Jepara sebesar 16,28 $\mu\text{g/ml}$ dan terendah di kota Semarang sebesar 9,07 $\mu\text{g/ml}$. Untuk bakteri sungai air nilai K_s tertinggi di Kota Jepara (6,91 $\mu\text{g/ml}$), Kota Semarang (6,49 $\mu\text{g/ml}$), dan terendah Kota Jakarta (6,12 $\mu\text{g/ml}$). Mix culture bakteri di sedimen lebih tinggi daripada di air karena jenis bakteri di air berbeda dengan di sedimen.



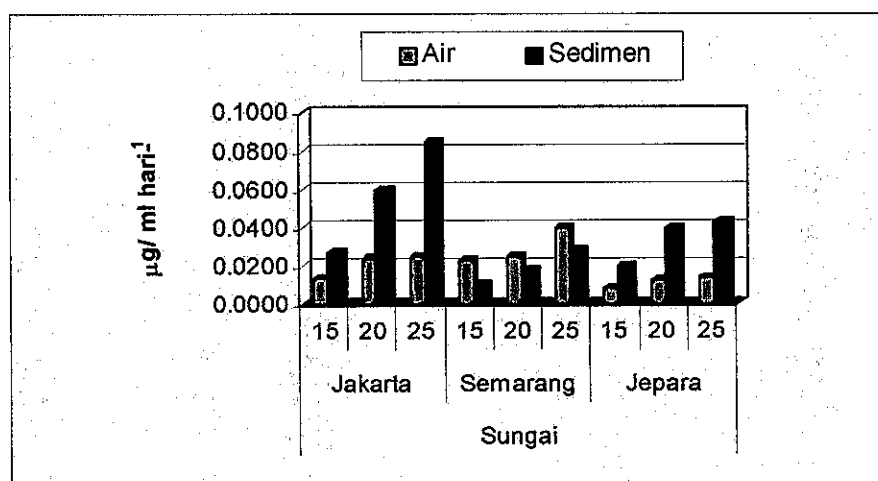
Gambar 76. Hasil Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Hubungan antara biomassa dan waktu menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri (r_g) menimbulkan naiknya tingkat turbiditas pada media sampai keadaan tertentu. Nilai r_g terbesar pada sungai sedimen di kota Jepara dengan konsentrasi 25 mg/ml sebesar (0,0082 mg/ml hari⁻¹), Kota Jakarta (0,042 mg/ml hari⁻¹), dan terendah pada Kota Semarang (0,0035 mg/ml hari⁻¹). Sedangkan untuk nilai r_g pada konsentrasi 15 mg/ml untuk Mix culture bakteri air nilai tertinggi pada kota Jepara (0,0017 mg/ml hari⁻¹), Kota Semarang (0,0013 mg/ml hari⁻¹) dan terendah kota Jakarta (0,0012 mg/ml hari⁻¹).



Gambar 77. Nilai Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g)

Nilai r_{su} tertinggi di sungai sedimen pada konsentrasi 25 mg/ml terdapat pada kota Jakarta (0,0847 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$), Kota Jepara (0,0429 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$), dan terendah kota Semarang (0,277 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$). Untuk Mix culture bakteri sungai air nilai r_{su} tertinggi pada konsentrasi 15 mg/ml terdapat pada kota Semarang (0,0224 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$), Kota Jakarta (0,0135 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$), dan terendah pada kota Jepara (0,0078 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$). Nilai r_g dan r_{su} yang tinggi menunjukkan peningkatan konsentrasi substrat koprostanol akan mengalami kenaikan laju pertumbuhan bakteri dan penggunaan substrat pada Mix culture bakteri air dan sedimen.



Gambar 78. Nilai Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

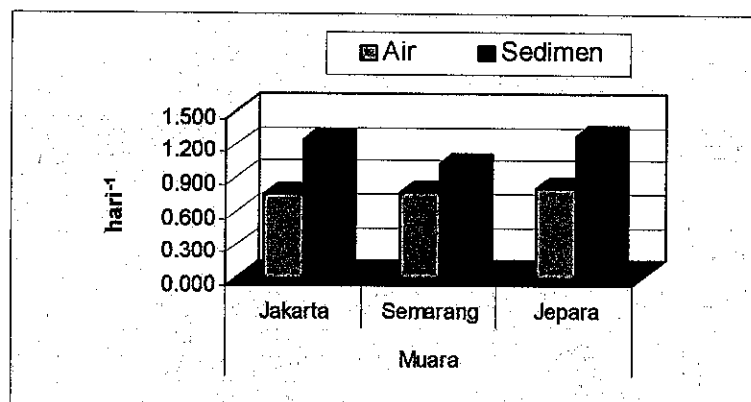
Tingginya pencemaran sungai di ketiga daerah penelitian disebabkan oleh aktivitas perkotaan dan daerah yang padat penduduknya dan perbedaan hidrodinamika ketiga lokasi kota tersebut. Ini bisa dilihat pada lokasi penelitian di Sungai Ciliwung merupakan daerah perkotaan dan pusat perdagangan dengan jumlah limbah domestik mempunyai persentase yang tertinggi 71,97 %. Kemudian pada Sungai Banjir Kanal Timur disepanjang aliran sungai banyaknya tempat daerah kumuh ini akan berkaitan dengan tata guna lahan yang menyebabkan perubahan di daerah hilir. Selain itu di kota Semarang terdapat bangunan pemecah gelombang (*breakwater*). Pada sungai Demaan melewati pusat perkotaan. Adanya aktivitas-aktivitas ini salah satunya akan menyebabkan kekeruhan di sungai meningkat.

Laju biodegradasi koprostanol oleh bakteri terseleksi dari air dan sedimen pada lingkungan sungai dan tiga tipologi kota nilai tertinggi pada kota Jakarta, Jepara dan Semarang. Menurut Suhartono (2003) laju biodegradasi Jakarta dan Jepara tinggi karena

aktivitas perkotaan dan daerah yang padat penduduknya, serta nilai TOC yang tinggi pada kedua kota tersebut. Kekeruhan pada sungai yang tinggi mengakibatkan terganggunya organisme akuatik yang dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air sehingga dapat mengganggu kehidupan bakteri.

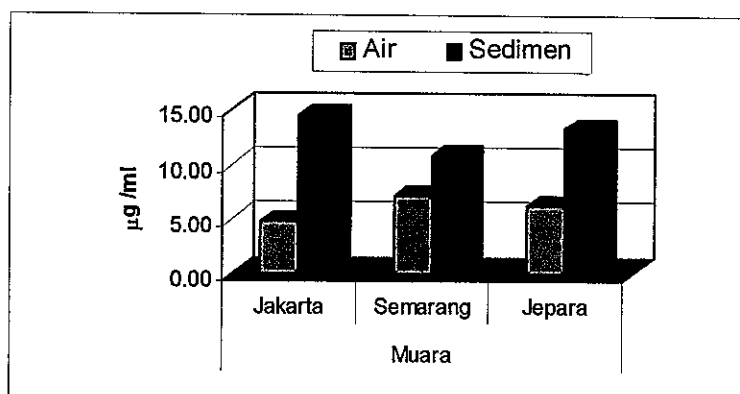
Kondisi Lingkungan Muara

Untuk lingkungan muara, nilai laju pertumbuhan spesifik tertinggi pada mix culture bakteri sedimen terdapat pada kota Jepara sebesar ($1,289 \text{ hari}^{-1}$), Kota Jakarta ($1,238 \text{ hari}^{-1}$), dan terendah Kota Semarang ($1,034 \text{ hari}^{-1}$). Untuk mix culture bakteri air nilai laju pertumbuhan spesifik tertinggi pada Kota Jepara ($0,816 \text{ hari}^{-1}$), Kota Semarang ($0,783 \text{ hari}^{-1}$), dan terendah pada kota Jakarta ($0,763 \text{ hari}^{-1}$).



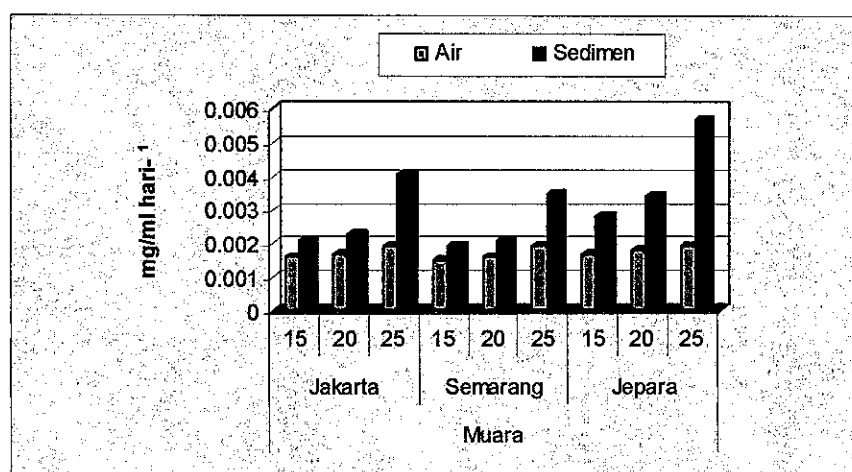
Gambar 79. Hasil Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks})

Nilai K_s tertinggi untuk mix culture bakteri sedimen di Jakarta sebesar ($14,53 \mu\text{g/ml}$), Kota Jepara ($13,38 \mu\text{g/ml}$), dan terendah kota Semarang ($10,90 \mu\text{g/ml}$). Sedangkan nilai terendah pada mix culture bakteri air pada kota Jakarta ($4,90 \mu\text{g/ml}$), Kota Jepara ($6,28 \mu\text{g/ml}$), dan Kota Semarang ($7,22 \mu\text{g/ml}$).



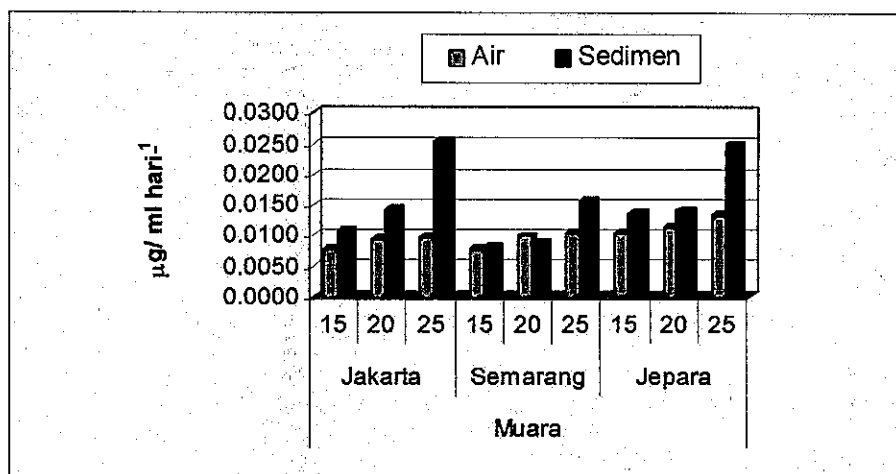
Gambar 80. Hasil Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Laju pertumbuhan bakteri (r_g) tertinggi di muara Jepara $0,0057 \text{ mg/ml hari}^{-1}$ (pada mix culture bakteri sedimen) dengan konsentrasi 25 mg/ml dan terendah muara Semarang sebesar $0,0012 \text{ mg/ml hari}^{-1}$ (pada mix culture bakteri air) dengan konsentrasi 15 mg/ml .



Gambar 81. Nilai Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g)

Sedangkan nilai laju penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi di muara Jakarta pada konsentrasi 25 mg/ml sebesar $0,0254 \text{ µg/ml hari}^{-1}$ (pada mix culture bakteri sedimen) dan terendah dengan konsentrasi 15 mg/ml pada Muara Jakarta sebesar $0,0077 \text{ hari}^{-1}$ (pada mix culture bakteri air).

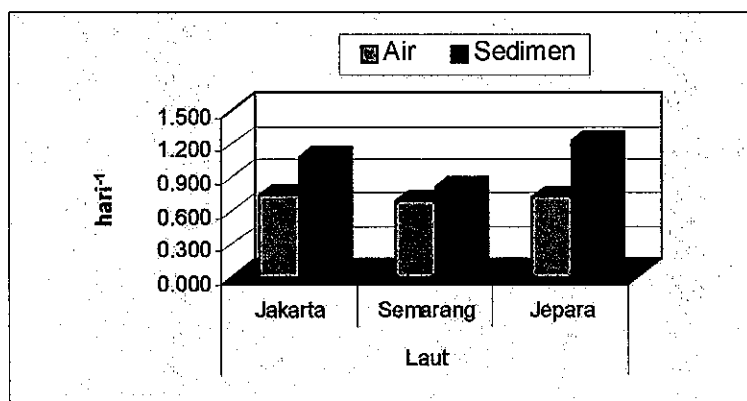


Gambar 82. Nilai Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

Konsentrasi koprostanol pada sedimen muara lebih besar karena adanya proses flokulasi dari koloid koprostanol di air yang mengendap pada sedimen lempung (*clay*), sehingga koprostanol di air sangat kecil dan tidak terdeteksi. Koloid koprostanol akan teradsorpsi oleh material organik yang terdapat pada koloid lempung pada proses flokulasi yang dapat menyerap zat organik. Pada sedimen di wilayah Muara Sungai Demaan didominasi oleh lempung (*clay*) akibat adanya ion yang berasal dari air laut di perairan muara yang menyebabkan penggumpalan partikel lumpur (Nybakken, 1992), selain itu kandungan bahan organik di wilayah tersebut juga relatif tinggi yang ditunjukkan dengan nilai TOC, sehingga keberadaan koprostanol lebih besar di sedimen. Hal itu menyebabkan kemampuan bakteri sedimen untuk mendegradasi koprostanol lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri air karena ketersediaan substrat (koprostanol) yang tinggi pada sedimen. Analisa tersebut mengacu pada Koncan and Dular (1994) yang menyebutkan bahwa biodegradasi dari suatu senyawa organik dalam limbah dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: konsentrasi senyawa organik, dan ketersediaan lingkungan yang tepat untuk pertumbuhan mikroorganisme, disamping faktor karakteristik fisik dan kimia dari senyawa organik tersebut. Pada kondisi lingkungan muara, laju biodegradasi koprostanol tertinggi pada kota Jakarta, Jepara dan Semarang. Menurut Suhartono (2003) nilai indeks pencemaran Jakarta 10,51 dan termasuk kriteria cemar berat, disusul Jepara 6,71 dengan kriteria cemar sedang dan terendah pada kota Semarang 3,44 dan termasuk cemar ringan. Tinggi rendahnya indeks pencemaran sangat berpengaruh pada laju biodegradasinya.

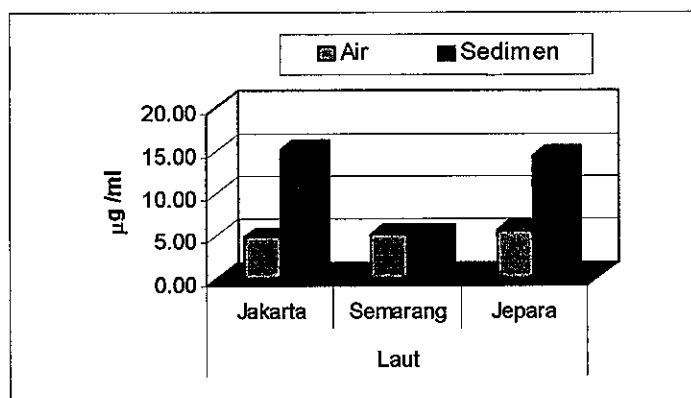
Kondisi Lingkungan Perairan Pantai

Hasil laju pertumbuhan spesifik maksimum untuk perairan laut, nilai tertinggi pada kota Jepara ($1,219 \text{ hari}^{-1}$), Kota Jakarta ($1,090 \text{ hari}^{-1}$), dan Kota Semarang ($0,0806 \text{ hari}^{-1}$). Sedangkan untuk mix culture bakteri di air nilai tertinggi di Kota Jakarta ($0,737 \text{ hari}^{-1}$), Kota Jepara ($0,722 \text{ hari}^{-1}$), dan terendah kota Semarang ($0,682 \text{ hari}^{-1}$) sedangkan untuk mix culture bakteri sedimen.



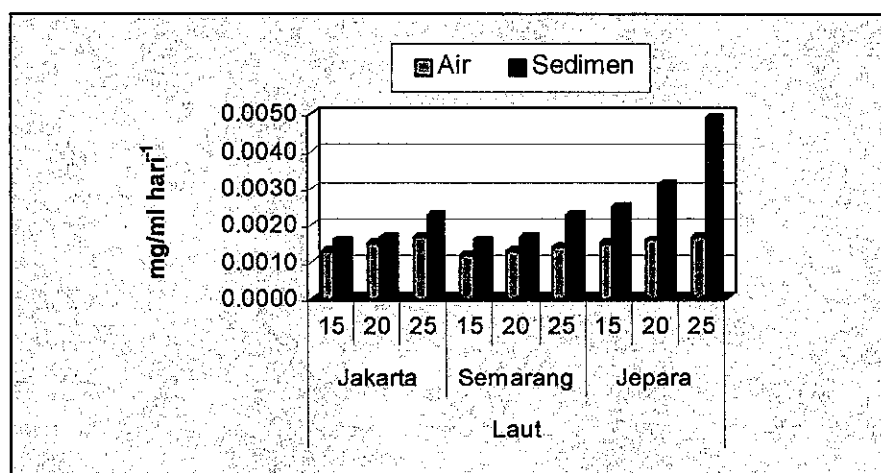
Gambar 83. Nilai Laju Pertumbuhan Spesifik Maksimum (μ_{maks})

Nilai K_s terbesar di Jakarta ($15,06 \mu\text{g/ml}$), Jepara ($14,28 \mu\text{g/ml}$), dan terendah di Semarang ($5,29 \mu\text{g/ml}$). Untuk Mix culture air laut terbesar di Jepara ($5,29 \mu\text{g/ml}$), Semarang ($5,15 \mu\text{g/ml}$), dan terendah Jakarta ($4,81 \mu\text{g/ml}$). Nilai K_s tinggi menunjukkan bahwa mix culture bakteri yang mempunyai nilai μ_{maks} tinggi memiliki kemampuan untuk mendegradasi koprostanol dengan konsentrasi yang lebih tinggi.

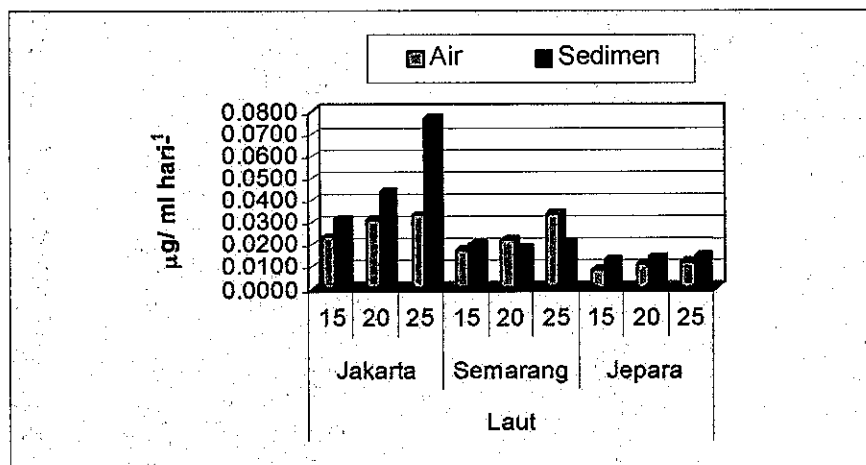


Gambar 84. Nilai Tetapan Kejenuhan (K_s)

Nilai pertumbuhan bakteri (r_g) di perairan laut sedimen sebesar 0,0049 mg/ml hari⁻¹ sedangkan nilai terendah di perairan laut air sebesar 0,0012 mg/ml hari⁻¹. Untuk nilai penggunaan substrat (r_{su}) tertinggi pada konsentrasi 25 mg/ml di perairan laut Jakarta sebesar 0,0771 μ g/ml hari⁻¹ (untuk Mix culture bakteri sedimen) sedangkan nilai terendah terdapat pada kota Jepara dengan konsentrasi 15 mg/ml sebesar 0,0086 μ g/ml hari⁻¹ (untuk Mix culture bakteri air).



Gambar 85. Nilai Laju Pertumbuhan Bakteri (r_g)



Gambar 86. Nilai Laju Penggunaan Substrat (r_{su})

Nilai Laju Penggunaan Substrat (r_{su}) tertinggi untuk kondisi lingkungan laut pada kota Jakarta, Semarang dan Jepara. Menurut Suhartono (2003) nilai indeks pencemaran Jakarta 4,07 (cemar ringan), Semarang 2,21 (cemar ringan), dan Jepara 3,03 (cemar ringan).

Pada lingkungan perairan pantai, yang jauh dari muara dengan jenis sedimen lempung debuan mempunyai nilai konsentrasi koprostanol yang rendah, hal ini disebabkan oleh proses pengadukan sedimen oleh gelombang laut yang sangat dinamik karena pengaruh musim, TOC, angin dan salinitas. Berkurangnya konsentrasi koprostanol di perairan pantai akibat teradsorbsinya koprostanol pada material lempung yang mengendap di lingkungan sungai dan muara.

Hakanson dan Jansosson (1983), menyatakan bahwa untuk dapat mengetahui kondisi lingkungan pada suatu perairan, sedimen dasar perairan dapat berperan sebagai Bank Informasi. Dijelaskan pula oleh Coakley dan Poulton (1991) bahwa analisis sedimen akan sangat bermanfaat untuk merunut transpor sedimen terkontaminasi, sedangkan menurut Bachtiar (2002) koprostanol teradsorpsi pada lempung (*clay*).

Gaudy dan Gaudy (1981) menyatakan bahwa kinetika pertumbuhan mulai menurun bila konsentrasi substrat berkurang, perubahan lingkungan, kepadatan sel bertambah dan adanya hambatan oleh produk metabolik yang tertimbun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian tentang kinetika biodegradasi koprostanol oleh bakteri terseleksi dari air dan sedimen yang dilakukan pada kondisi lingkungan sungai, muara, dan perairan pantai dengan tiga tipologi kota (Jakarta, Semarang, dan Jepara) dapat disimpulkan:

Bahwa koprostanol mempunyai persistensi yang cukup baik sehingga berpotensi sebagai alternatif indikator limbah domestik; dengan mempunyai kisaran nilai:

- K_s pada air sungai (6,12-6,91 $\mu\text{g/ml}$), muara (4,90-7,22 $\mu\text{g/ml}$), laut (4,81-5,55 $\mu\text{g/ml}$) dan di sedimen sungai (9,07-16,69 $\mu\text{g/ml}$), muara (10,90-14,53 $\mu\text{g/ml}$), laut (5,29-15,06 $\mu\text{g/ml}$).
- Laju penggunaan substrat (r_{su}) pada air sungai (0,0078-0,0396 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$), muara (0,0077-0,0133 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$), laut (0,0086-0,0233 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$) dan di sedimen sungai (0,0099-0,0847 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$), muara (0,0081-0,0254 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$), laut (0,0130-0,0771 $\mu\text{g/ml hari}^{-1}$).

5.2. Saran

Pada musim kemarau koprostanol mempunyai persistensi yang baik dan berpotensi sebagai alternatif indikator limbah domestik, namun untuk kondisi musim lainnya perlu dilakukan kajian lebih lanjut dengan menggunakan isolat bakteri yang dilakukan pada kondisi musim penghujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmojo, T. Y. 2004. *Kajian Eksistensi Koprostanol dan Bakteri Coliform di Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai pada Monsun Timur*. Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana. Universitas Diponegoro, Semarang. 99 hlm. (Tesis)
- Bachtiar, T. 2002. *Tracing Contaminated Sediment Using Natural Indicators*, Masterb Tesis. Departement of Geology, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.
- Bachtiar, T. 2002. *Koprostanol sebagai indikator kontaminasi dan perunut alamiah limbah domestic di perairan pantai Banjir Kanal Timur Semarang*, Disertasi, ITB. Bandung.
- Barlett, P.D. 1987. *Degradation of Coprostanol in an Experimental System*. Mar. Pollut. Bull., 18 (1) : 110 – 123, Semarang.
- Bollag, W.B and Bollag, J. 1992. *Biodegradation. Encyclopedia of Microbiology*, Vol.1. Academic Press. pp 269-276
- Brock, T.D., M.T. Madigan, J.M. Martinko, J. Parker. 1996. *Biology of Microorganisms 8th Edition*. Prentice Hall International, New Jersey
- Brown, R.C and T.L. Wade, *Sedimentary coprostanol and hydrocarbon distribution adjacent to a sewage outfall*. Wat. Res., 18:621-632.
- Caphra, S.C. 1997. *Surface Water Quality Modelling*. McGraw-Hill, Singapore.
- Coakley, J.P. and B.F.N.Long.1990. *Tracing The Movement Of Fine-Grained Sediment in Aquatic Systems: A Literature Review*, Inland Water Directorate Envir. Canada Scientific Series 174, 21 p
- Coakley, J.P. and D.J. Poulton.1991, *Tracer for Fine Sediment Transport in Humber Bay, Lake Ontario*, J.Great Lake Res, 17,289-303.
- Coakley, J.P., J.H, and B.J. Eadie. 1992, *Spesific Organic Componets as Tracers of Contaminated Fine Sediment Dispersal in Lake Ontario Near Toronto*, Hydrobiologia, 235/236, 85-96.
- Dahuri, R.,J. Rais, S. P. Ginting dan M. J. Sitepu,. 1996. *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu* , PT Pradya Paramita, Jakarta.
- Dutka, B.J.,A. S.Y. Chau, and J. Coburn. 1974. *Relationship Between Bacterial Indikators of Water Pollution and Fecal Steroids*. Wat. Res., 8: 1047-1055.
- Dureth, S, R. Herman, and K. Pecher. 1986. *Tracing Fecal Pollution by Coprostanol and Intestinal Bacteria in an Ice-Covered Finish Lake Loaded With Both Industrial and Domestic Sewage Water*. Air. Soil., 28: 131-149.
- Edvantoro, B.B. 2000. *Bioremediasi, Alternatif Lain Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Litbang PUSARPEDAL, Jakarta

- Garisson, T. 1993. *Oceanography: An Invitation to Marine Science*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California.
- Gaudy, A and Gaudy, E. 1980. *Microbiology for Environmental Scientist and Engineers*. McGraw-Hill Kogakusha Inc. Tokyo, Japan. 230-253 hlm.
- Hatcher, P. G., L. E. Keister, and P. A. McGillivray. 1977. *Steroids as sewage specific indicators in New York Bight Sediment*, *Bull Environ. Contam. Toxicol.* 17 : 491-498.
- Hatcher, P. G. and P. A. McGillivray. 1979. *Sewage contamination in the New York Bight : Coprostanol as an indikator*. *Environ Sci. Tecchnol.*, 13:, 1225-1229.
- Holm, S. E. and J. G. Windsor. 1990. Exposure assessment of sewage treatment plant effluent by a selected chemical marker method. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*, 19: 674-679.
- Judoamidjojo, M., A.A. Darwis dan E.G. Sai'id. 1992. *Teknologi Fermentasi*. Rajawali Pres. 344 hlm.
- Koncan. Z.J dan Dular, M. 1995. *Evaluation of Biodegradation Kinetics of Organic Wastewater in A Laboratory River Model*. IAWQ, Great Britain. pp. 229-235
- Makarim, N. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik *dalam* http://www.dprin.go.id/regulasi/2003/07/KLH_112_03.htm (diakses tanggal 30 November 2004)
- Mangunwidjaja, D. dan Suryani, A. 1994. *Teknologi bioproses*. Penebar Swadaya, Jakarta. 388 hlm.
- Munir, M. 2004. *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Koprostanol dari Lingkungan Sungai, Muara dan Perairan Pantai pada Monsun Timur (Studi Kasus di Jakarta, Semarang, dan Jepara)*. Program Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro, Semarang. 88 hlm. (Tesis)
- McCorquodale, D.S. 1996 Indicators for Determinating the Sources and Extent of Fecal Contamination in Coastal Waters: an Annotated Bibliography.. DNRP Technical Report, Florida. 4 pp.
- McDowell, M.D. and B.A. O'Connor. 1977. *Hydroulic Behaviour of Estuaries*, The Macmillan Press Ltd. London.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse*. Third Ed., Revised by G. Tchobanoglous and F.L. Burton. Mc. Graw-Hill, Singapore.
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut "Suatu Pendekatan Ekologis"*. PT Gramedia, Jakarta. 459 hlm.
- Pamdey. G. N. and G. C. Carney. 1991. *Environmental Engineering*. TataMcGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi.
- Prescott, L.M., Harley, J.P., Klein, D.A. 1996. *Microbiology*. Third Edition Vol 1. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, IA. pp. 114 - 133

- Rheinheimer, G. 1992. *Aquatic Microbiology*. 4th edition. John Willey & Sons, New York. 363 pp.
- Richana, N., N. Yusri, N. Azizah, D. S. Damardjati, dan U. Murdiyatmo. 1999. *Produksi Amilase oleh Isolat Bakteri Termofil Indigenous*. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan. Hlm. 39 -45
- Sabdon, A. 2001. *Identifikasi dan Analisis Genetik Bakteri Karang Pendegradasi Senyawa Herbisida 2,4 Diklorofenoksiasetat di Laut Jawa*. (Disertasi). 163 hlm.
- Schlegel, H.G. and Schmidt, K. 1994. *Mikrobiologi Umum*. (Diterjemahkan oleh Baskoro, T.) Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 689 hlm.
- Supriharyono, 2000. *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*, PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Surakhmad, W. 1989. *Pengantar Penelitian Ilmiah*. Tarsito, Bandung
- Suhartono, E. 2004. *Identifikasi Kualitas Perairan Pantai Akibat Limbah Domestik Dengan Metode Indeks Pencemaran dan Alternatif Pengendaliannya (Studi Kasus Jakarta, Semarang, dan Jepara pada Monsun Timur)*, Tesis Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Switzer-Howse, K. D. And B. J. Dutka 1978. *Fecal Sterol Studies : Samples Processing And Microbial Degradation, Scientific Series No. 89. National Water Research Institute. Canada Centre For Inland Water, Burlington, Ontario*. 432 Hlm.
- Todar, K. 2001. Nutrition and Growth of Bacteria. University of Wisconsin-Madison Department of Bacteriology dalam <http://www.bact.wisc.edu/Bact303/Nutrition&Growth> (diakses tanggal 28 Mei 2004)
- Walker, R. W., C.K. Wun, and W. Litski. 1982. *Coprostanol as an indikator of fecal pollution*, Paper No. 1420, Massachussettes Agriculture Experiment Station, University of Massachussettes. Amherst.